



**Rui Miguel Sendas
Jerónimo**

**Construção em Madeira – Exigências para a Certificação
Energética**



**Rui Miguel Sendas
Jerónimo**

Construção Em Madeira – Exigências Para Certificação Energética

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e co-orientação da Professora Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

o júri
presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim
Professor associado da Universidade de Aveiro

Prof.^a Doutora Maria Isabel Morais Torres
Professora auxiliar da Universidade de Coimbra

Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof.^a Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues
Professora auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Uma dissertação é sempre o produto do trabalho de muitos: Professores, orientadores, funcionários e familiares.

Concluída a presente dissertação agradeço, em geral, à Universidade de Aveiro, ao Departamento de Engenharia Civil e seus professores, e, em especial, aos meus orientadores: Professor Doutor Romeu Vicente e Professora Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues, pelo apoio e empenho, disponibilidade, rigor e saber prestado no desenvolvimento do presente estudo.

À empresa Protoconcept e seus funcionários fico grato pela disponibilidade e ajuda dos dados necessários à concretização do estudo.

Aos meus pais, pelo apoio e confiança disponibilizados.

resumo

O objecto de estudo da presente dissertação é a “Construção em madeira – exigências para a certificação energética” e o seu enquadramento no sistema energético de edifícios.

A certificação energética de edifícios é, em Portugal, uma exigência legal motivada pelo elevado consumo de energia e pelos baixos recursos energéticos existentes, com a finalidade de racionalizar os consumos.

Sendo o sector dos edifícios domésticos, juntamente com os sectores industrial e dos transportes, um dos maiores consumidores de energia foi necessário, para estimular a poupança de energia, implementar o processo de certificação energética com o objectivo de classificar os edifícios e as habitações numa escala que vai da letra G, classificação mais baixa, à letra A+, classificação mais elevada, tendo por base o seu consumo anual de energia, e de obrigar os edifícios construídos a partir de 2006 a ter uma classificação mínima obrigatória de B-. Partindo destes factores, a empresa Protoconcept, empresa de construção de edifícios em madeira, juntamente com o Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, propuseram o estudo do presente tema. Tema que nasce com a necessidade da empresa responder às necessidades do mercado.

Para a elaboração da presente dissertação começou-se por conhecer o método de caracterização térmica preconizado pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios e a influência deste nas especialidades de acústica, incêndio e ventilação de edifícios e vice-versa.

Partindo do seu conhecimento estudou-se e caracterizou-se o método de certificação energética implementado em Portugal, ficando a conhecer-se o seu papel, objectivos bem como o seu enquadramento legal a nível europeu.

Além disso, elaborou-se também um estudo sobre construção em madeira, evidenciando-se as suas características como material construtivo, tipos de sistemas construtivos, desempenho térmico e tipo de ligações.

Como já referido o estudo tem por base uma moradia construída pela empresa Protoconcept. No estudo a ela dedicado o primeiro procedimento foi analisá-la e aplicar-lhe o método preconizado pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios calculando-se as necessidades energéticas. Calculadas as necessidades energéticas da solução base são implementadas novas soluções, de forma a conseguir-se uma classificação energética máxima (A+) em todas as regiões climáticas previstas pelo Regulamento de Comportamento Térmico dos Edifícios.

Além deste estudo comparou-se o comportamento energético da solução original com o comportamento energético de uma solução em betão armado e alvenaria de tijolo cerâmico.

Por fim fez-se um estudo económico, fornecendo um tempo de retorno para as melhorias implementadas e que levam as habitações construídas pela empresa Protoconcept à classificação A+.

Abstract

The present dissertation has as object of study “timber buildings – requirements for energy certification”, and its framing in the energy system of buildings.

In Portugal, the energy certification of buildings is a legal requirement motivated for the high consumption of energy, and the low energy resources existing, aiming at rationalizing consumption.

Domestic buildings, together with industry and transport, are one of the highest sectors of energy consumption. In order to encourage energy saving, it was necessary to apply the energy certification procedure, aiming at classifying buildings and houses in a scale from G (the lowest classification) to A+ (the highest classification), having as basis its annual energy consumption, and to force buildings built from 2006 on to have a minimum classification of B-. Considering these factors, Protoconcept, company of timber buildings, and the Department of Civil Engineering of the University of Aveiro proposed the study of the present subject. This subject arises from the company needs to attend the market needs.

To prepare the present dissertation we started by knowing the method of thermal characterization approved by the Regulations on Characteristics of the Thermal Behaviour of Buildings and its influence in buildings acoustic, fire and ventilation and vice-versa.

From its knowledge, we studied and characterized the method of energy certification implemented in Portugal where we became acquainted with its role, goals and legal framework at the European level.

Additionally, a study on timber building was also carried out, showing its characteristics as building material, the types of building systems, thermal performance and connections.

As previously mentioned, this study is based in a residence built by Protoconcept. The first procedure of the study was to analyze and apply it the method approved by the Regulations on Characteristics of the Thermal Behaviour of Buildings, calculating the energy needs. After the energy needs of the basis solution were calculated, new ones are implemented in order to achieve the maximum energy classification (A+) in all climate regions under the Regulations on Characteristics of the Thermal Behaviour of Buildings.

In addition, we compared the energy behaviour of the original solution with a solution of reinforced concrete and clay brick masonry.

Finally, we made an economical study, providing a returning time for improvements implemented, and which leads homes built by Protoconcept to an A+ classification.



Poupar energia começa em nossas casas

Conteúdo

1.	Introdução	14
1.1	Enquadramento.....	14
1.2	Objectivos	14
1.3	Organização da dissertação	15
2.	Desempenho energético e comportamento térmico	16
2.1	Compatibilização de exigências funcionais	16
2.1.1	Requisitos regulamentares.....	17
2.1.2	Soluções optimizadas	29
2.2	Certificação energética	32
2.2.1	Papel da certificação e seus objectivos.....	32
2.2.2	Classificação energética	34
2.2.3	Panorama europeu	35
2.3	Construção em madeira	38
2.3.1	Madeira na construção	38
2.3.2	Habitções em madeira	40
2.3.3	Especificidades da construção em madeira	49
2.3.4	Desempenho térmico.....	51
2.3.5	Ligações	53
3.	Apresentação do caso de estudo.....	56
3.1	Caracterização térmica	57
3.1.1	Zonamento climático e dados climáticos	57
3.1.2	Definição das envolventes.....	58
3.1.3	Envolvente opaca	60
3.1.4	Envolvente translúcida	67
3.1.5	Parâmetros dos vãos envidraçados	68
3.1.6	Espaços não úteis	73
3.1.7	Pontes térmicas.....	74
3.1.8	Coeficientes de transmissão térmica superficiais (U)	78
3.1.9	Taxas de renovação de ar	81

3.1.10	Ventilação natural	83
3.1.11	Inércia térmica interior	91
3.1.12	Aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS).....	91
3.1.13	Verificação dos requisitos segundo o Regulamento das Características de Comportamento Térmico do Edifícios (RCCTE) [1].....	93
3.1.14	Classe de eficiência energética.....	98
3.1.15	Passos para uma casa A+ (medidas de melhoria e suas consequências).....	99
3.1.16	Melhoria dos vãos envidraçados	102
3.1.17	Melhoria da ventilação	103
3.1.18	Melhoria dos sistemas de aquecimento de água quente sanitária.....	103
3.2	Análise do comportamento térmico das várias soluções	104
3.2.1	Perdas térmicas.....	104
3.2.2	Ganhos solares térmicos.....	111
3.2.3	Análise das pontes térmicas	115
3.3	Justificação da escolha por uma casa de madeira.....	117
3.4	Avaliação de custos e período de recuperação do investimento	120
4.	Conclusões e perspectivas futuras de trabalho	122
4.1	Síntese do trabalho realizado.....	122
4.2	Avaliação dos resultados	122
4.3	Conclusões	122
4.3.1	Compatibilização de exigências funcionais	123
4.3.2	Certificação energética	123
4.3.3	Construção em madeira.....	123
4.3.4	Caracterização térmica	123
4.3.5	Análise do comportamento térmico	124
4.3.6	Avaliação de custos e período de recuperação do investimento	124
4.4	Perspectivas de trabalho futuro	125
5.	Bibliografia	126
	Anexo I – Apresentação da moradia unifamiliar.....	134
	Anexo II – Cálculos	135
	II.1 –Definição dos envidraçados.....	135

II.2 – Planta estrutural das soluções A, B e B2	136
II.3 – Planta estrutural da solução C (betão armado e alvenaria)	138
II.4 – Localização dos painéis solares	139
II.5 - Ventilação	140
II.6 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U)	141
II.7 – Cálculo dos factores solares da solução A e C	151
II.8 – Cálculo dos factores solares da solução B e B2	152
II.9 – Cálculo de pontes térmicas	154
II.10 – Cálculos do projecto de ventilação	158
II.11 – Inércia térmica solução A, B e B2	159
II.12 – Cálculo térmico.....	160
Solução A	160
Solução B	174
Solução B2	188
Solução C	201
II.13 - Relatórios energéticos	216
Anexo III – Análise financeira	217

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Relação entre a inércia térmica e frequência [6].....	20
Figura 2.2 – Cortes de fachada ventilada [8].....	29
Figura 2.3 – Bloco térmico [9]	30
Figura 2.4 – Blocos multi-câmara [10]	30
Figura 2.5 – Bloco isolsónico [11]	31
Figura 2.6 – Exemplos de ressoadores para revestimento de paredes [12]	31
Figura 2.7 – Exemplos de aberturas de ventilação em caixilharias [13] [14]	32
Figura 2.8 – Exemplos de grelhas de ar nas caixas de estore [15]	32
Figura 2.9 - Consumo de energia por sector em 2006 [17]	33
Figura 2.10 - Escala de classificação do nível energético de um edifício ou fracção [18].....	35
Figura 2.11 - Valores médios dos coeficientes de transmissão térmica (U) na capital dos vários países [20]	37
Figura 2.12 – Edifícios construídos através do sistema de prumos leves [24]	40
Figura 2.13 – Centro da Idade da Pedra em Kierikki, Finlândia, executado em madeira maciça [25].....	40
Figura 2.14 – Globo da Ciência e Inovação em Cern, Suíça, estrutura em madeira lamelada colada [26].....	41
Figura 2.15 – Processo de construção e produto final de uma habitação em madeira fabricada pela empresa Protoconcept: painéis OSB, instalações, isolante, estrutura dos prumos e gesso cartonado	42
Figura 2.16 – Concepção de uma laje de pavimento de uma moradia da empresa Protoconcept	42
Figura 2.17 – Colocação de tubagens numa habitação da empresa Protoconcept.	43
Figura 2.18 – Exemplos de habitações em madeira maciça [27]	44
Figura 2.19 – Globo da Ciência e Inovação em Cern, Suíça, estrutura em madeira lamelada colada [26].....	45
Figura 2.20 <i>Kerto S</i> e <i>kerto Q</i> [29].....	46
Figura 2.21 – Exemplo de estrutura em <i>Kerto</i> [30].....	46
Figura 2.22 – Estrutura resistente de uma laje em vigas I [31]	47
Figura 2.23 – Painel “ <i>sandwich</i> ” [31].....	48
Figura 2.24 – Construção com painéis pré fabricados [31].....	49
Figura 2.25 – Ligação tradicional [34].....	53
Figura 2.26 – Ligação mecânica tipo cavilha [34]	54
Figura 2.27 – Ligação mecânica tipo plana [34]	54
Figura 2.28 – Ligação colada [34]	55

Figura 2.29 – Ligação de entalhe [35].....	55
Figura 3.1 – Vista da moradia unifamiliar, objecto de estudo.....	56
Figura 3.2 – Traçado da envolvente interior e exterior em planta ao nível do pavimento	59
Figura 3.3 - Traçado da envolvente interior e exterior em corte	59
Figura 3.4 - Traçado da envolvente interior e exterior em corte	59
Figura 3.5 - Traçado da envolvente interior e exterior em corte	60
Figura 3.6 – Traçado da envolvente interior e exterior em corte	60
Figura 3.7 – Corte da parede exterior da solução A.	61
Figura 3.8 - Corte da parede exterior da solução B/B2	62
Figura 3.9 – Corte da parede exterior em zona corrente da solução C.....	63
Figura 3.10 - Corte da parede exterior em zona de ponta térmica plana do pilar da solução C	63
Figura 3.11 – Zona de ponte térmica plana da viga da solução C.....	64
Figura 3.12 - Corte da cobertura, soluções A, B e B2.....	65
Figura 3.13 – Corte da cobertura, solução C	66
Figura 3.14 – Corte da laje de pavimento, soluções A, B e B2.....	67
Figura 3.15 – Corte da laje de pavimento, solução C.....	67
Figura 3.16 – Valor dos ângulos das obstruções verticais dos envidraçados	70
Figura 3.17 - Valor dos ângulos de obstruções horizontais dos envidraçados	70
Figura 3.18 – Valor dos ângulos de obstruções horizontais dos envidraçados	71
Figura 3.19 – Estores venezianos [36]	71
Figura 3.20 – Pontes térmicas lineares das soluções A, B e B2.....	75
Figura 3.21 – Pontes térmicas planas devido aos prumos da solução A, B e B2	76
Figura 3.22 – Pontes térmicas planas da laje de piso das soluções A, B e B2	76
Figura 3.23 - Pontes térmicas da solução C	77
Figura 3.24 – Temperaturas do processo de transmissão de calor [37].....	79
Figura 3.25 – Exemplos de entradas e saídas de ar para a ventilação [35] [15] [41]	84
Figura 3.26 – Exemplo de entrada de ar através das caixilharias [14]	87
Figura 3.27 – Esquema de sistema de circulação forçada (fonte: Soluções Completas Para Sistemas Solares [43]	92
Figura 3.28 – Esquema resumo da regulamentação/certificação energética [21]	97
Figura 3.29 – Classes energéticas e seus valores limite [18]	98
Figura 3.30 – Envidraçado isolado de forma a corrigir a ponte térmica ligação da fachada/padieira, ombreira ou peitoril [44].....	100
Figura 3.31 – Chapa composta [92]	101
Figura 3.32 – Perdas térmicas da solução A.	105
Figura 3.33 – Perdas térmicas da solução B e B2.	105

Figura 3.34 – Perdas térmicas para a solução C.....	106
Figura 3.35 – Coeficiente global de perdas para as várias soluções	107
Figura 3.36 – Perdas térmicas associadas à envolvente exterior da solução A	108
Figura 3.37 – Perdas térmicas associadas à envolvente exterior da solução B e B2.....	109
Figura 3.38 – Perdas térmicas associadas à envolvente exterior da solução C	109
Figura 3.39 – Valor total das perdas associadas à envolvente exterior das soluções	111
Figura 3.40 – Ganhos na estação de arrefecimento da solução A	112
Figura 3.41 - Ganhos na estação de arrefecimento da solução B.....	113
Figura 3.42 - Ganhos na estação de arrefecimento da solução B2.....	113
Figura 3.43 - Ganhos na estação de arrefecimento da solução C.....	114
Figura 3.44 – Ganhos térmicos das soluções	114
Figura 3.45 – Valor total das perdas térmicas por pontes térmicas lineares das soluções	115
Figura 3.46 – Valor total das perdas térmicas por pontes térmicas planas das soluções.....	115
Figura 3.47 – Valor do dióxido de carbono emitido e acumulado na concepção de materiais de construção [45].....	118
Figura 3.48 – Valor da energia consumida para produzir 1 m ³ de material (fonte: La Madera Y La Construcción [45]).....	119
Figura II.1 – Definição dos envidraçados	135
Figura II.2 – Planta estrutural do pavimento.....	136
Figura II.3 – Planta estrutural dos prumos verticais.....	137
Figura II.4 – Planta estrutural da solução C	138
Figura II.5 – Localização dos painéis solares.....	139
Figura II.6 – Projecto de ventilação	140
Figura II.7 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 1 – Norte	147
Figura II.8 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 2 – Norte.....	147
Figura II.9 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 3 – Norte.....	148
Figura II.10 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 4 – Oeste e 6 - Sul	148
Figura II.11 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 5 – Oeste.....	149
Figura II.12 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 7 – Sul	149
Figura II.13 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 8 – Sul	150
Figura II.14 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 8 – Oeste.....	150

Lista de Quadros

Quadro 2.1 - Classes de reacção ao fogo para produtos de construção, excluindo pavimentos [7].	22
Quadro 2.2 – Equivalência entre as especificações do LNEC e as constantes das decisões comunitárias [7]	23
Quadro 2.3 – Classes de reacção ao fogo para produtos de construção, incluindo pavimentos e os seus revestimentos [7].....	23
Quadro 2.4 – Equivalência entre as especificações do LNEC e as constantes das decisões comunitárias [7]	24
Quadro 2.5 – Classes de reacção ao fogo de produtos lineares para o isolamento térmico de condutas [7].....	24
Quadro 2.6 – Escalões de tempo [7]	25
Quadro 2.7 - Equivalência entre as especificações do LNEC e as constantes das decisões comunitárias [7]	25
Quadro 2.8 – Quadro síntese dos requisitos do RCCTE [1], RRAE [2] e RJ-SCIE e RT - SCIE [4].....	26
Quadro 2.9 – Efeitos da interligação entre as diferentes especialidades	28
Quadro 2.10 – Propriedades físicas e mecânicas de alguns tipos de madeira [32].	51
Quadro 2.11 – Valor da condutibilidade térmica (λ) de vários tipos de madeira [33]	52
Quadro 3.1 – Dados climáticos das soluções, A, B, B2 e C.....	58
Quadro 3.2 – Constituição das paredes exteriores da solução A em zona corrente e em zona de ponte térmica plana.	61
Quadro 3.3 - Constituição das paredes exteriores da solução B/B2 em zona corrente	62
Quadro 3.4 - Constituição das paredes exteriores da solução C em zona corrente e ponte térmica plana	63
Quadro 3.5 – Constituição da cobertura para as soluções A, B, B2 e C.	65
Quadro 3.6 – Constituição da laje de piso das soluções A, B/B2 e C	66
Quadro 3.7 – Factor solar dos vãos envidraçados das soluções A, B, B2 e C	69
Quadro 3.8 – Valores dos factores de obstrução	72
Quadro 3.9 – Valor do coeficiente de redução de perdas térmicas para os locais não aquecidos, τ	74
Quadro 3.10 – Valores das pontes térmicas para as várias soluções.....	78
Quadro 3.11 – Valor dos coeficientes de transmissão térmica superficial, U	80
Quadro 3.12 – Valor dos coeficientes de transmissão térmica superficial, U para os envidraçados das soluções.....	81
Quadro 3.13 – Caudais-tipo de admissão e evacuação de ar.....	85

Quadro 3.14 – Área útil das condutas individuais.....	86
Quadro 3.15– Condutas de ligação de aparelhos tipo B.....	87
Quadro 3.16 – Áreas das aberturas de admissão e evacuação de ar.....	88
Quadro 3.17 – Caudal e área das passagens de ar interior	87
Quadro 3.18 – Espessura mínima das chapas das condutas de ar em função do maior lado da conduta.	90
Quadro 3.19 – Valor de E_{solar} das várias soluções.....	93
Quadro 3.20 – Valores das necessidades nominais de energia e valores limites máximos das soluções.....	97
Quadro 3.21 Valor da relação entre as necessidades globais anuais nominais de energia primária (N_{tc}) e o limite máximo admissível de energia primária (N_t) e classe energética das várias soluções.	98
Quadro 3.22 – Comparação dos valores do coeficiente de transmissão térmica (U) da solução A e solução B, e das perdas energéticas através das pontes térmicas lineares.....	100
Quadro 3.23 – Características térmicas do aglomerado de cortiça	101
Quadro 3.24 – Comparação do valor do coeficiente de transmissão térmica (U) e dos ganhos solares através dos envidraçados das soluções A e B.	103
Quadro 3.25 – Quadro resumo das medidas de melhoria aplicadas e suas consequências	104
Quadro 3.26 – Diminuição das perdas e ganhos térmicos em relação às medidas de melhoria implementadas.....	117
Quadro II.1 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da zona corrente das paredes da solução A.....	141
Quadro II.2 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da zona de ponte térmica das paredes da solução A (posição 2).....	141
Quadro II.3 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da zona de ponte térmica das paredes da solução A (posição 2).....	142
Quadro II.4 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da zona corrente das paredes da solução B e B2	142
Quadro II.5 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da zona de ponte térmica da solução B e B2 (posição 1).....	143
Quadro II.6 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da zona de ponte térmica das paredes da solução B e B2 (posição 2).....	143
Quadro II.7 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura das soluções A, B e B2.....	144
Quadro II.8 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento sobre desvão das soluções A, B e B2	144

Quadro II.9 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento na zona de ponte térmica plana	145
Quadro II.10 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento em contacto com o exterior	145
Quadro II.11 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento	145
Quadro II.12 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos elementos da solução C	146
Quadro II.13 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados da solução A e C	146
Quadro II.14 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados da solução B e B2	151
Quadro II.15 – Cálculo do factor solar dos vãos envidraçados da solução A e C.....	151
Quadro II.16 – Cálculo do factor de sombreamento dos vãos envidraçados da solução A e C	152
Quadro II.17 – Cálculo do factor solar dos vãos envidraçados da solução B e B2	152
Quadro II.18 – Cálculo do factor de sombreamento das soluções B e B2	153
Quadro II.19 – Cálculo do ângulo da pala proporcionado pelos estores adoptados para a solução B e B2.....	153
Quadro II.20 – Cálculo das áreas de prumos verticais da solução A, B e B2	154
Quadro II.21 – Cálculo da área de ponte térmica dos prumos verticais.....	155
Quadro II.22 – Cálculo da ponte térmica relativa a duas paredes verticais	155
Quadro II.23 – Cálculo da área dos elementos estruturais da laje de pavimento em contacto com desvão sanitário.....	156
Quadro II.24 – Cálculo da área dos elementos estruturais da laje de pavimento em contacto com o exterior	156
Quadro II.25 – Ponte térmica equivalente a fachada com varanda	156
Quadro II.26 – Ponte térmica ligação da fachada com caixa de estore	157
Quadro II.27 – Ponte térmica ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril.....	157
Quadro II.28 – Ponte térmica ligação da fachada com soleira	157
Quadro II.29 – Cálculo dos elementos do projecto de ventilação	158
Quadro II.30 – Cálculo da inércia térmica para as soluções A, B e B2	159
Quadro III.1 – Cálculo do investimento efectuado para as soluções de melhoria.....	217
Quadro III.2 – Cálculo do custo dos gastos de energia até ao ano 15	218
Quadro III.3 – Cálculo do valor actualizado líquido	219
Quadro III.4 – Necessidades energéticas da solução A e B	219
Quadro III.5 – Cálculo do periodo de retorno através das necessidades energéticas	220

Simbologia

- A_i – Área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil (m^2);
- AQS – Águas quentes sanitárias;
- A_u – Área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior (m^2);
- $A_{zcorrente}$ – Área de zona corrente;
- A_{zptp} – Área de zona de ponte térmica;
- B_j – Desenvolvimento linear da ponte térmica j (m);
- CF – Corta-fogo;
- CO_2 – Dióxido de carbono;
- $Custo_{aq}$ – Custo da energia utilizada pelo equipamento de apoio para produção de AQS (kWh/m^2 ano);
- $Custo_i$ – Custo da energia utilizada pelo equipamento de climatização da estação de aquecimento ($€/kWh$);
- $Custo_v$ – Custo da energia utilizada pelo equipamento de climatização da estação de arrefecimento ($€/kWh$);
- $D_{2m, nT}$ – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea das fachadas dos quartos e zonas de estar;
- $D_{2m, nT, W}$ – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea (db);
- e – Espessura da camada térmica;
- E – Estanquidade a chamas e gases quentes;
- EF – Estanquidade ao fogo;
- Ep – indicador que representa o consumo energético ou a emissão de CO_2 ;
- $Epmáx$ – limite de consumo energético máximo definido para o edifício;
- EPS – Poliestireno expandido moldado;
- E_{solar} – Energia fornecida por um sistema solar (kWh /ano);
- F_f – Factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado;
- F_g – Fracção envidraçada;
- F_h – Factor de sombreamento do horizonte;
- $FIGRA$ – taxa de propagação do fogo ($W s^{-1}$);
- Fluxo crítico* – fluxo radiante correspondente à extensão máxima da chama (só para pavimentos).
- F_o – Factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado;

F_s – Factor de obstrução;

F_s – propagação das chamas (mm);

F_w – Factor de correcção de selectividade angular dos envidraçados;

g_{\perp} – Factor solar;

$g_{\perp 100\%}$ – Factor solar com a protecção activada a 100%;

$g_{\perp v}$ – Factor solar do vidro;

H – Altura da conduta de evacuação (m);

I – Isolamento térmico;

$I.I.$ – Investimento inicial (€);

$I.S.$ – Instalação sanitária;

I_i – Zona climática de Inverno, com $i=1, 2$ ou 3 ;

It – Inércia térmica média (kg/m^2);

K – Taxa de juro do investimento ou custo do capital (%);

$L'_{nt, w}$ – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão nos quartos e zonas de estar;

$L_{ar, nT}$ – Nível de avaliação do ruído particular de elementos colectivos do edifício;

LFS – propagação lateral das chamas (comparado com o bordo da amostra) (m);

M_{si} – Massa superficial útil (kg/m^2);

Na – Necessidade máxima de energia para a preparação de AQS ($\text{kWh/m}^2 \text{ ano}$);

Nac – Necessidades de energia para preparação das AQS ($\text{kWh/m}^2 \text{ ano}$);

Ni – Necessidades nominais de máximas de aquecimento ($\text{kWh/m}^2 \text{ ano}$);

Nic – Necessidades nominais de aquecimento ($\text{kWh/m}^2 \text{ ano}$);

Nt – Valor máximo das necessidades globais de energia ($\text{kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$);

Ntc – Necessidades nominais globais de energia primária ($\text{kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$);

Nv – Necessidades nominais de arrefecimento máximas ($\text{kWh/m}^2 \text{ ano}$);

Nvc – Necessidades nominais de arrefecimento ($\text{kWh/m}^2 \text{ ano}$);

PC – Pára chamas;

PCS – Poder calorífico superior (MJ kg^{-1} , MJ kg^{-2} ou MJ m^{-2} , consoante os casos);

Ptl – Ponte térmica linear;

Ptp – Ponte térmica plana;

Q – Caudal (m^3/h);

Q_g – Ganhos térmicos brutos (kWh);

Q_{gu} – Ganhos térmicos úteis (kWh);

Q_n – Potência nominal (kW);

R – Capacidade de suporte de carga;

R – Relação entre as necessidades nominais globais de energia primária e o valor máximo das necessidades globais de energia;

r – Resistência térmica da conduta evacuação ($\text{m}^2 \text{K/W}$);

RA – Região autónoma;

R_j – Resistência da camada térmica j ($\text{m}^2 \text{°C/W}$);

R_{ph} – Renovações por hora;

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior ($\text{m}^2 \text{°C/W}$);

R_{si} – Resistência térmica superficial interior ($\text{m}^2 \text{°C/W}$);

$SMOGRA$ – taxa de propagação de fumo ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$);

T – Tempo de reverberação;

t_f – tempo de presença de chama (duração de chamas persistentes) (s);

THR_{600s} – calor total libertado em 600 s (MJ);

TSP_{600s} – produção total de fumo em 600 s (m^3);

U – Coeficiente de transmissão térmica superficial ($\text{W/m}^2 \text{°C}$);

$U_{zcorrente}$ – Coeficiente de transmissão térmica da zona corrente;

U_{zptp} – Coeficiente de transmissão térmica de zona de ponte térmica;

VAL – Valor actual do dinheiro (€);

VF – Valor futuro do dinheiro (€);

V_i – Zona climática de Verão, com $i=1, 2$ ou 3 ;

XPS – Poliestireno expandido extrudido;

δm – Perda da massa (%);

δT – Aumento da temperatura ($^{\circ}\text{C}$);

η – Factor de utilização de ganhos térmicos;

η_i – Eficiência nominal dos equipamentos utilizados para sistemas de aquecimento;

η_v – eficiência nominal dos equipamentos utilizados para sistemas de arrefecimento;

λ – Condutibilidade térmica ($\text{W/(m.}^{\circ}\text{C)}$);

τ – Coeficiente de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos;

Φ – Diâmetro das condutas (mm);

ψ_j – Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica j ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$);

Acrónimos

ADENE – Agencia para a energia;

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios;

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios;

RSCIE – Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios;

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios;

S.M.A.C.N.A – Sheet Metal and Air Conditioning Contractor's National Association;

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios.

Capítulo 1

Introdução – enquadramento, objectivos e organização da dissertação

Capítulo 1 – Introdução

- 1.1 Enquadramento
- 1.2 Objectivos
- 1.3 Organização da dissertação

1. Introdução

1.1 Enquadramento

A madeira é cada vez mais utilizada, como material de construção de edifícios. Seguindo o exemplo de outros países europeus, designadamente o Reino Unido e os Nórdicos, Portugal começa a reutilizá-la de diversas formas, como material de construção e, conseqüentemente, a usufruir das vantagens de conforto, segurança e bem-estar, que proporciona aos utilizadores dos edifícios que com ela são construídos.

Perante o fenómeno de crescimento da sua utilização, é necessário estudar a madeira, como material de construção, de forma a que sua utilização seja boa e responda às questões que imperam no nosso sistema de construção, como é o caso da certificação energética.

A União Europeia, por considerar importante regulamentar a construção de edifícios, trabalha na produção de normas técnicas, de modo a garantir que o seu funcionamento garanta aos seus utilizadores: segurança, conforto, bem-estar...

Ao nível estrutural o Eurocódigo 5 – Projecto de Estruturas de Madeira, estabelece os pressupostos para o dimensionamento das estruturas a construir em madeira, mas relativamente à verificação do comportamento térmico dos edifícios construídos em madeira o regulamento a aplicar é o comum às restantes tipologias construtivas: o RCCTE [1], Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

Partindo destes pressupostos, torna-se necessário proceder à análise do comportamento térmico das edificações em madeira, através do método detalhado que o RCCTE [1] descreve e enuncia.

1.2 Objectivos

Os objectivos da presente dissertação são:

- Estudar o comportamento térmico de uma habitação unifamiliar construída em madeira, concebida e produzida pela empresa Protoconcept;
- Descrever as especificidades construtivas da madeira relativamente ao desempenho térmico e às soluções construtivas (compatibilização e ligações);
- Estudar as soluções construtivas de equipamentos para se atingir uma certificação de classe A+;

- Justificar a escolha deste tipo de soluções a nível económico e da sustentabilidade;
- Comparar a eficiência energética com outra tipologia construtiva (betão armado) e ainda com outras soluções construtivas;
- Verificar o impacto das pontes térmicas planas e lineares no processo de regulamentação térmica.

1.3 Organização da dissertação

A dissertação desenvolve-se ao longo de quatro capítulos e dois anexos. O capítulo 1 é dedicado à apresentação do tema e seu enquadramento, objectivos propostos e organização da dissertação.

No capítulo 2 é abordada a temática do desempenho energético e conforto térmico. Esta abordagem incide em três aspectos: compatibilização das especialidades; certificação energética; construção em madeira.

O capítulo 3 é dedicado ao caso de estudo. Neste capítulo é feita a apresentação da moradia unifamiliar objecto do estudo, a caracterização energética, as medidas de melhoria, apresentação e discussão de resultados e o estudo económico-financeiro.

No capítulo 4 apresentam-se as conclusões finais e perspectivas futuras.

A informação contida nos anexos divide-se: anexo I, em plantas, alçados, pormenores construtivos, ilustrações 3D da moradia; no anexo II, apresentam-se os elementos inerentes à caracterização térmica, o cálculo dos coeficientes de transmissão térmica, a identificação de pontes térmicas planas e lineares, as folhas de balanço térmico do método preconizado pelo RCCTE [1] e anexo III análise económica.

Capítulo 2

Desempenho energético e comportamento térmico

Capítulo 2 – Desempenho energético e comportamento térmico

2.1 Compatibilização de exigências funcionais

2.1.1 Requisitos regulamentares

2.1.2 Soluções optimizadas

2.2 Certificação energética

2.2.1 Papel da certificação e seus objectivos

2.2.2 Classificação energética

2.2.3 Panorama europeu

2.3 Construção em madeira

2.3.1 Madeira na construção

2.3.2 Habitações em madeira

2.3.3 Especificidades da construção em madeira

2.3.4 Desempenho térmico

2.3.5 Ligações

2 Desempenho energético e comportamento térmico

2.1 Compatibilização de exigências funcionais

A concepção de uma habitação, tem que responder a várias exigências funcionais, destacando-se entre outras a:

- resistência mecânica e estabilidade;
- segurança contra riscos de incêndio;
- higiene, saúde e ambiente;
- segurança na utilização;
- protecção contra ruído e conforto acústico;
- economia de energia e conforto térmico.

De forma a estabelecerem-se regras para as exigências anteriores serem implementadas nas edificações construídas, existem vários regulamentos que estabelecem normas técnicas e requisitos mínimos (de segurança, de conforto, de funcionalidade).

Por serem específicos os regulamentos existentes não têm em consideração as especificidades relativas a outras especialidades e às respectivas exigências regulamentares. As especialidades enunciadas neste capítulo e seus regulamentos são:

- especialidade de Térmica, Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE)[1];
- especialidade de Acústica, Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [2];
- especialidade de Ventilação, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) [3];
- especialidade de incêndios, Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RSCIE) [4].

O RCCTE [1], estabelece os requisitos considerados mínimos de forma a conseguir-se atingir conforto térmico adequado aos utilizadores do edifício sem que haja gastos de energia excessivos.

O RRAE [2], estabelece as exigências para evitar a transmissão de ruídos de percussão e aéreos provenientes do exterior em espaços contíguos interiores.

O RSECE [3] impõe renovações de ar, que purificam o ambiente interno da habitação tornando o espaço mais saudável.

O RSCIE [4], estabelece limites de resistência e de reacção ao fogo dos elementos constituintes do edifício (paredes, lajes, envidraçados...) ao fogo, de forma a garantir a

segurança na evacuação dos utilizadores, e na intervenção dos bombeiros na eventualidade da ocorrência de um incêndio, bem como, evitar a deflagração do incêndio.

2.1.1 Requisitos regulamentares

Como já referido os regulamentos estabelecem requisitos mínimos para que os edifícios sejam funcionais, confortáveis, saudáveis... Estas limitações visam, essencialmente, os elementos que delimitam os espaços interiores com o exterior ou com zonas interiores, mas não úteis. Para além de delimitarem, têm a função de proteger contribuindo para o bem-estar do ambiente interior da habitação, obedecendo aos requisitos dos regulamentos em vigor para as várias especialidades. Os elementos de uma envolvente são opacos, transparentes e/ou translúcidos.

Fazem parte dos elementos opacos, coberturas, pavimentos e panos de fachada opacos (paredes, pilares, vigas, caixas de estore...); Os elementos transparentes ou translúcidos são constituídos pelos vãos envidraçados.

Assim sendo, estes elementos são importantes, dado serem os responsáveis pelo bem-estar dos ocupantes do edifício e da preservação do mesmo.

O conforto termo – higrotérmico, é um factor que condiciona cada vez mais a concepção de uma casa. Este conforto é de difícil definição, considerando-se que uma pessoa está em conforto termo - higrotérmico quando não sente qualquer desagrado ou irritação, por outras palavras, quando não sente nem calor nem frio.

O conforto termo – higrotérmico resulta de trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente e contorno do edifício. Estas trocas de calor resultam por radiação, convecção, condução e evaporação. Os factores que mais influenciam as trocas de calor em termos ambientais são:

- temperatura radiante do contorno do edifício;
- humidade relativa;
- velocidade do movimento do ar;
- temperatura do ambiente;
- evolução da temperatura ao longo do tempo.

Em termos individuais são:

- actividade física;

- vestuário [5].

Perante os aspectos citados, cabe ao RCCTE [1] estabelecer pressupostos que salvaguardem o conforto termo – higrotérmico dos edifícios sem haver um gasto exorbitante de energia, como revelam os seus objectivos. Esta nova versão do RCCTE [1], assenta, portanto, no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios vêm a ter meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no Inverno quer no Verão, e impõe limites aos consumos que decorrem dos seus potencial existência e uso. Fixa claramente as condições ambientais de referência para o cálculo dos consumos energéticos nominais segundo padrões típicos admitidos como os médios prováveis, quer em termos de temperatura ambiente quer em termos de ventilação para renovação do ar e garantia de uma qualidade do ar interior aceitável. Este regulamento alarga, assim, as suas exigências ao definir claramente objectivos de previsão de taxas de renovação do ar adequadas [1].

No RCCTE [1], existem requisitos mínimos que são aplicados às soluções que constituem as envolventes. Estes requisitos, que se encontram no Anexo IX, com o título de “Requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios”, referem-se aos elementos de transmissão térmica em zona corrente (U), em zonas não correntes e ao factor solar máximo admissível dos envidraçados (g_{\perp}).

Estes requisitos dependem no caso do coeficiente de transmissão térmica superficial para zonas correntes:

- da zona climática da estação de aquecimento (I_1 , I_2 e I_3), sendo as zonas I_1 , zonas com um clima mais ameno e as zonas I_3 , com um clima mais rigoroso;
- do posicionamento do elemento, horizontal ou vertical;
- da localização do elemento, se está em contacto com o interior, com zonas não úteis ou edifícios adjacentes.

Quanto ao factor solar máximo admissível dos envidraçados, traduz a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar incidente na direcção normal a esse vão. Depende da zona climática da estação de arrefecimento (V_1 , V_2 e V_3) e da inércia térmica da fracção (I_t).

O balanço térmico do espaço é apenas possível conhecendo a envolvente térmica (quer interiores, quer exteriores) de modo a estabelecer as necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento da habitação.

São ainda estabelecidos requisitos energéticos para o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento do ambiente interior, aquecimento da água quente sanitária e para a totalidade desses consumos em termos de energia primária, traduzidos pelas necessidades globais anuais nominais de energia primária (N_{tc}).

Os elementos das fachadas ou de elementos de separação com zonas não úteis, que servem para proporcionar conforto termo-higrotérmico, têm igualmente, requisitos mínimos ao nível do seu comportamento acústico e de resistência ao fogo.

O ruído define-se por uma vibração mecânica estatisticamente aleatória de um meio elástico e todo o fenómeno acústico que produz uma sensação auditiva desagradável ou incomodativa. As suas principais características são:

- nível sonoro;
- frequência (som puro, emitido numa frequência) ou espectro (som complexo, emitido em várias frequências);
- duração da sua percepção (constante, flutuante, impulsivo).

A regulamentação em vigor tem os objectivos principais de:

- estabelecer um conjunto de critérios de desempenho e exigências que potenciem condições de conforto acústico adequadas;
- permitir uma efectiva harmonização da aplicação de conceitos e metodologias de avaliação do desempenho acústico ao nível comunitário e internacional.

Em termos acústicos, o RRAE [2], limita:

- $D_{2m,nT,w}$ - índice de isolamento sonoro aos sons de condução aérea das fachadas dos quartos e zonas de estar (dB);
- $D_{2m,nT}$ - índice de isolamento sonoro aos sons de condução aérea entre quartos e zonas de estar e zonas de circulação comum (dB);
- $L'_{nt,w}$ - índice de isolamento sonoro a sons de percussão nos quartos e zonas de estar de zonas de pavimentos de outros fogos ou locais de circulação comum do edifício;
- $L_{ar, nT}$ - nível de avaliação do ruído particular de elementos colectivos do edifício;
- T - tempo de reverberação (seg.).

A limitação para estes índices depende da tipologia de utilização a que se destina o edifício (habitação, serviços...); da sua localização (zonas sensíveis, com muito trânsito ou zonas mistas) e se a área de elementos translúcidos da fachada em estudo for

superior a 60%; das zonas de circulação comuns; dos equipamentos instalados no edifício para uso comum...

Estes requisitos são respeitados através dos elementos das fachadas e elementos que delimitam os compartimentos: paredes, lajes e portas. As soluções acústicas estão interligadas com as soluções térmicas. Os sons de condução aérea são influenciados em grande parte pela massa da parede e a frequência do som incidente. Segundo a Lei da Massa Teórica, para um hipotético elemento de rigidez nula, o índice de redução sonora para um som com determinada frequência, está directamente relacionado com a massa desse elemento. Deste modo, parte-se do princípio que uma parede pesada tem melhor comportamento que uma parede leve em termos acústicos.

Do ponto de vista da correcção acústica na Figura 2.1 expõem-se a relação entre a inércia térmica e os valores de absorção dos revestimentos.

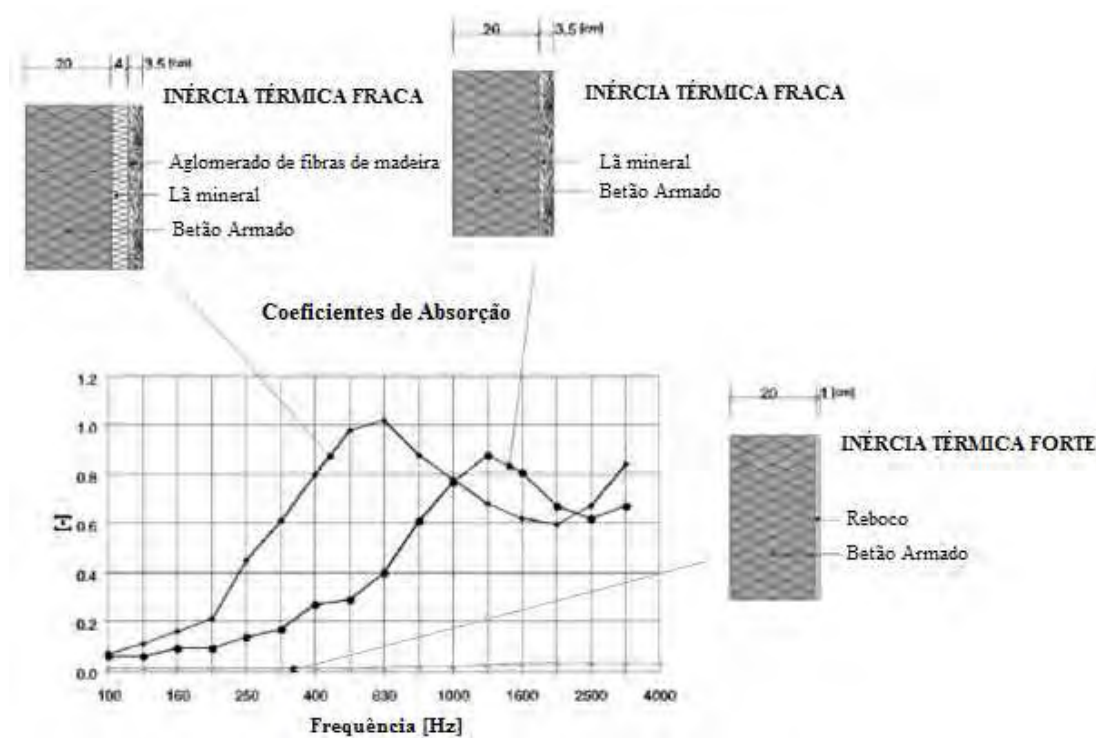


Figura 2.1 – Relação entre a inércia térmica e frequência [6]

Em termos de segurança contra riscos de incêndio, o regime jurídico, RJ – SCIE [4], tem por objectivo:

- reduzir a probabilidade de ocorrência de incêndios;
- limitar o desenvolvimento de eventuais incêndios, circunscrevendo e minimizando os seus efeitos;
- facilitar a evacuação e o salvamento dos ocupantes em risco;
- permitir a intervenção eficaz e segura dos meios de socorro;
- proteger bens do património cultural e meios essenciais à continuidade de actividades sociais relevantes.

Os elementos constituintes da envolvente interior e exterior, segundo o regulamento técnico RT - SCIE (Portaria Nº 1532/2008 de 29 de Dezembro) [4], devem ser alvo de um estudo em termos de comportamento, reacção e resistência ao fogo.

A actual legislação de segurança contra incêndios em edifícios introduz as Euroclasses quer para a classificação de reacção ao fogo quer para a resistência ao fogo cuja equivalência com as classificações anteriormente em vigor se encontra exposta nos Quadros, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5.

Segundo o RT – SCIE [4], tem-se:

- Classes de reacção ao fogo para produtos de construção, excluindo pavimentos (Quadro 2.1);
- Equivalência entre as especificações do LNEC e as constantes das decisões comunitárias (Quadro 2.2);
- Classes de reacção ao fogo para produtos de construção, incluindo pavimentos e os seus revestimentos (Quadro 2.3);
- Equivalência entre as especificações do LNEC e as constantes das decisões comunitárias (Quadro 2.4);
- Classes de reacção ao fogo de produtos lineares para isolamento térmico de condutas (Quadro 2.5);

A nova classificação é baseada em ensaios feitos à escala real ou de laboratório, e em critérios normalizados. Os parametros que condicionam a classificação dos materiais são:

- δT – aumento da temperatura (°C);
- δm – perda da massa (%);

- t_f - tempo de presença de chama (duração de chamas persistentes) (s);
- PCS – poder calorífico superior (MJ kg^{-1} , MJ kg^{-2} ou MJ m^{-2} , consoante os casos);
- FIGRA – taxa de propagação do fogo (W s^{-1});
- $\text{THR}_{600\text{s}}$ – calor total libertado em 600 s (MJ);
- LFS – propagação lateral das chamas (comparado com o bordo da amostra) (m);
- SMOGRA – taxa de propagação de fumo (m^2s^{-2});
- $\text{TSP}_{600\text{s}}$ – produção total de fumo em 600 s (m^2);
- F_s – propagação das chamas (mm);
- Libertação de gotículas ou partículas incandescentes;
- Fluxo crítico – fluxo radiante correspondente à extensão máxima da chama (só para pavimentos).

Quadro 2.1 - Classes de reacção ao fogo para produtos de construção, excluindo pavimentos [7]

Classe	Factores de classificação	Classificação complementar
A1	δT , δm , t_f e PCS	
A2	δT , δm , t_f , PCS, FIGRA, LFS e $\text{THR}_{600\text{s}}$	Produção de fumo (s1, s2 ou s3) e gotículas incandescentes d0, d1 ou d3)
B	FIGRA, LFS, $\text{THR}_{600\text{s}}$ e F_s	Produção de fumo (s1, s2 ou s3) e gotículas incandescentes (d0, d1 ou d2)
C	FIGRA, LFS, $\text{THR}_{600\text{s}}$	Produção de fumos (s1, s2 ou s3) e gotículas ou partículas incandescentes (d0, d1 ou d2)
D	FIGRA e F_s	Produção de fumos (s1, s2 ou s3) e gotículas ou partículas incandescentes (d0, d1 ou d2)
E	F_s	Gotículas ou partículas incandescentes “aprovação ou reprovação”
F		Desempenho não determinado

Quadro 2.2 – Equivalência entre as especificações do LNEC e as constantes das decisões comunitárias [7]

Classificação de acordo com as especificações LNEC	Classificação segundo o sistema europeu		
	Classes	Classificação complementar	
		Produção de fumo	Queda de gotas/partículas inflamadas
M0	A1	-	-
	A2	s1	d0
M1	A2	Não exigível	d0
	B	Não exigível	d0
M2	A2, B	Não exigível	d1
	C	Não exigível	d0
			d1
M3	D	Não exigível	d0
			d1
M4	A2, B, C,	Não exigível	d2
	D		
		Não exigível	Ausência de classificação d2
Sem classificação	F	-	-

Quadro 2.3 – Classes de reacção ao fogo para produtos de construção, incluindo pavimentos e os seus revestimentos [7]

Classe	Factores de classificação	Classificação complementar
A _{1FL}	δT , δm , t_f e PCS	
A _{2FL}	δT , δm , t_b , PCS e fluxo crítico	Produção de fumo (s1 ou s2)
B _{FL}	Fluxo crítico e F_s	Produção de fumo (s1 ou s2)
C _{FL}	Fluxo crítico e F_s	Produção de fumo (s1 ou s2)
D _{FL}	Fluxo crítico e F_s	Produção de fumo (s1 ou s2)
E _{FL}	F_s	
F _{FL}		Desempenho não determinado

Quadro 2.4 – Equivalência entre as especificações do LNEC e as constantes das decisões comunitárias [7]

Classificação de acordo com as especificações LNEC	Classificação segundo o sistema europeu		
	Classes	Classificação complementar	
		Produção de fumo	Queda de gotas/partículas inflamadas
M0	A1 _{FI}	-	-
	A2 _{FI}	s1	-
M1	A2 _{FI}	Não exigível	-
	B _{FI}	Não exigível	-
M2	A2 _{FI} , B _{FI}	Não exigível	-
	C _{FI}	Não exigível	-
M3	D _{FI}	Não exigível	-
M4	A2 _{FI} , B _{FI} , C _{FI} , D _{FI}	Não exigível	-
		Não exigível	-
Sem classificação	F	-	-

Quadro 2.5 – Classes de reacção ao fogo de produtos lineares para o isolamento térmico de condutas [7]

Classe	Factores de classificação	Classificação complementar
A1 _L	δT , δm , t_p , PCS	
A2 _L	δT , δm , t_p , PCS, FIGRA, LFS e THR _{600s}	Produção de fumos (s1, s2 ou s3) e gotículas ou partículas incandescentes (d0, d1 ou d2)
B _L	FIGRA, LFS, THR _{600s} e F _s	Produção de fumos (s1, s2 ou s3) e gotículas ou partículas incandescentes (d0, d1 ou d2)
C _L	FIGRA, LFS, THR _{600s} e F _s	Produção de fumos (s1, s2 ou s3) e gotículas ou partículas incandescentes (d0, d1 ou d2)
D _L	FIGRA, THR _{600s} e F _s	Produção de fumos (s1, s2 ou s3) e gotículas ou partículas incandescentes (d0, d1 ou d2)
E _L	F _s	Gotículas ou partículas incandescentes “aprovação ou reprovação”
F _L		Desempenho não determinado

Os parâmetros de análise dos elementos construtivos relativamente à resistência ao fogo, são os seguintes:

- R, capacidade de suporte de carga;
- E, estanquidade a chamas e gases quentes;
- I, isolamento térmico;
- W, radiação;
- M, acção mecânica;
- C, fecho automático;
- S, passagem de fumo;
- P ou PH, continuidade de fornecimento de energia e ou de sinal;
- K, capacidade de protecção contra o fogo.

Os escalões de tempos considerados no RSCIE [4], encontram-se no Quadro 2.6.

Quadro 2.6 – Escalões de tempo [7]

Tempo em minutos								
15	20	30	45	60	90	120	180	240

No Quadro 2.7, é comparada a classificação do LNEC e do sistema europeu para os elementos em conformidade com a sua função.

Quadro 2.7 - Equivalência entre as especificações do LNEC e as constantes das decisões comunitárias [7]

Função	Classificação de acordo com as especificações LNEC	Classificação segundo o sistema europeu
Suporte	EF	R
Suporte + estanquidade	PC	RE
Suporte + estanquidade + isolamento térmico	CF	REI
Estanquidade chamas e gases quentes	PC	E
Estanquidade + isolamento	CF	EI

Sendo:

- EF, estabilidade ao fogo;
- PC, para chamas;
- CF, corta-fogo.

Analisando o conteúdo de cada regulamento, RCCTE [1], RRAE [2] e RSCIE [4], verifica-se que as soluções construtivas têm que ser definidas de forma integrada, para satisfazerem os requisitos impostos, em simultâneo, por cada um destes regulamentos.

No quadro síntese, Quadro 2.8, sintetiza-se a interligação entre estas especialidades, com as devidas exigências regulamentares.

Quadro 2.8 – Quadro síntese dos requisitos do RCCTE [1], RRAE [2] e RJ-SCIE e RT - SCIE [4]

Posicionamento	RCCTE [1]	RRAE [2]	RSCIE [4]
Envolvente externa	$U_{máx}$ das paredes exteriores, lajes, pavimentos pontes térmicas planas, factor solar máximo dos envidraçados	$D_{2m,nT, w}$	R (se a parede tiver função resistente), E, I, W
Envolvente interna	$U_{máx}$ (dependendo do valor de $\tau > 0,7$ ou $\leq 0,7$)	$D_{2m,nT, L'_{nt,w}, L_{ar, nT}, T}$	R (se parede tiver função resistente), E, I, W
Compartimentação interior			Em função de locais de riscos específicos (classificação de reacção ao fogo e resistência ao fogo (EN1051 -1, EN1051 - 2)

Na ventilação natural o RSCIE [4], estabelece valores de caudais tipo para os compartimentos, estabelecendo valores de caudais tipo para compartimentos de serviço (cozinha, instalações sanitárias...) e compartimentos principais (sala, quartos...).

As aberturas que promovem a entrada de ar, são simultaneamente zonas de perdas térmicas, e de entrada de ruído vindo do exterior. Estas perdas no conforto térmico e acústico devem ser minoradas através de soluções que contêm isolamentos, por exemplo atenuadores acústicos.

O RCCTE [1], obriga à implementação de um sistema de preparação de águas quentes sanitárias. Para isso, além dos sistemas de colectores solares térmicos, implementam-se sistemas complementares tais como, caldeiras murais, esquentadores... A utilização destes equipamentos, exige condições adequadas de segurança nos compartimentos, sendo necessário, o reforço do caudal de ventilação. Ventilação que, para além de natural, pode ser feita através de dispositivos mecânicos.

Deste modo as necessidades de ventilação e garantia da qualidade do ar interior interferem no comportamento térmico do espaço ventilado. As perdas por ventilação aumentam as perdas de energia térmica previstas no RCCTE [1], fazendo com que as necessidades de aquecimento aumentem. Com o aumento destas, o conforto térmico é afectado negativamente, exigindo soluções mais isolantes (aumento de espessuras, materiais com U mais baixo...).

No Quadro 2.9 enunciam-se alguns dos efeitos, quer positivos, quer negativos, resultantes da compatibilidade das especialidades.

Quadro 2.9 – Efeitos da interligação entre as diferentes especialidades

	Térmica	Acústica	Incêndios	Ventilação
Térmica	-	<p>Uso de revestimentos que proporcionam um bom comportamento acústico influenciam negativamente a inércia térmica.</p> <p>Envidraçados usados para ganhos solares térmicos traduzem-se em zonas débeis acusticamente.</p>	<p>Uso de materiais de construção com uma reacção e resistência ao fogo memos eficiente.</p> <p>Uso de componentes químicos para o melhoramento dos produtos ao fogo.</p>	<p>As aberturas para ventilação e os ventiladores mecânicos devem ser estudados de forma a que as perdas térmicas por ventilação sejam mínimas.</p> <p>A existência de aparelhos de preparação de AQS, obrigam a um caudal de ventilação superior.</p>
Acústica	<p>Condicionamento da escolha dos revestimentos interiores devido a afectar negativamente a inércia térmica.</p> <p>Possível diminuição de área de envidraçados.</p>	-	<p>Uso de soluções com placas de alumínio, fibras de vidro ou acabamento final com componentes químicos para serem respeitados os requisitos de RSCIE [4].</p>	<p>Uso de aberturas com atenuadores e isolantes acústicos aumentando o seu custo.</p>
Incêndios	<p>Alteração das soluções devido à imposição de requisitos de reacção e resistência ao fogo.</p>	<p>Alteração das soluções devido à imposição de requisitos em termos de reacção e resistência ao fogo.</p>	-	<p>Dimensionamento de aberturas que facilitem a desenfumagem e intervenção dos bombeiros, bem como a evacuação de pessoas.</p>
Ventilação	<p>Origina perdas térmicas</p>	<p>As aberturas são entradas de ruído.</p>	<p>Em caso de incêndio permite a desenfumagem.</p>	-

2.1.2 Soluções optimizadas

Os regulamentos vêm estabelecendo regras técnicas de maior rigor afim de que os edificios garantam aos seus utilizadores os índices de qualidade, conforto e segurança exigidos pelo mercado, o que obriga os operadores do sector da construção (técnicos e executantes) a procurarem novas soluções para problemas que respeitem os requisitos mínimos e compatibilizem as especialidades entre si.

De seguida apresentam-se alguns exemplos de soluções existentes que conciliam as várias especialidades satisfazendo os imperativos regulamentares.

2.1.2.1 Fachada ventilada

A Fachada Ventilada é um sistema de protecção e revestimento exterior dos edificios, caracterizando-se pelo afastamento entre a parede do edificio e o revestimento, criando um espaço onde o ar circula devido ao efeito de chaminé (ar entra frio pela parte inferior e sai quente pela parte superior). Este efeito evita patologias como a humidade e condensações.

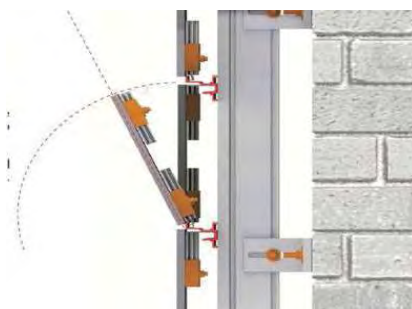


Figura 2.2 – Corte de fachada ventilada [8]

2.1.2.2 Tijolos e blocos cerâmicos

Os tijolos e blocos cerâmicos, são materiais de uso massificado na construção portuguesa. Cada vez mais se investe em investigação e desenvolvimento de forma a obter-se uma maior evolução dos materiais cerâmicos usados. Exemplos desta evolução são, os chamados blocos térmicos para serem utilizados na construção de paredes de pano único.



Figura 2.3 – Bloco térmico [9]

Outro tipo de blocos é o multi-câmara. Estes blocos foram concebidos para substituir a típica construção de parede de pano duplo por uma de pano simples.

O sistema de concepção de uma parede com estes blocos é mais simplificado, mais rápido que o tradicional o que origina menos erros de execução, que originam inúmeras patologias nas paredes duplas de fachada.



Figura 2.4 – Blocos multi-câmara [10]

Para além dos aspectos térmicos, existem blocos desenvolvidos para melhorar o nível de isolamento acústico das soluções, que se caracterizam pela sua geometria e pela sua massa (350 kg/m^2). Uma parede simples executada com este tipo de blocos respeita os requisitos legais de isolamento ao ruído, segundo as informações técnicas dos seus fabricantes.



Figura 2.5 – Bloco isolsónico [11]

2.1.2.3 Revestimentos

Os revestimentos interiores são importantes como se constata na secção 2.1.1 relativamente às exigências dos regulamentos.

Exemplos disso são os ressoadores de parede que absorvem as ondas sonoras de forma a existir um ambiente acústico agradável para os utilizadores do espaço.

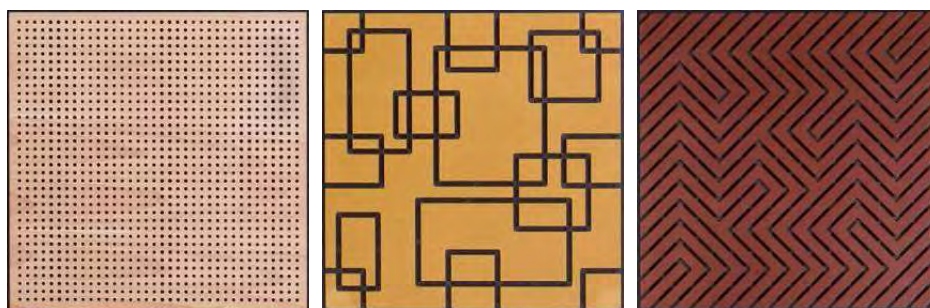


Figura 2.6 – Exemplos de ressoadores para revestimento de paredes [12]

2.1.2.4 Produtos usados em ventilação natural

Devido às necessidades de ventilação dos compartimentos, e visto que, as casas estão normalmente desabitadas durante o dia, é necessário utilizar equipamentos que garantam as necessidades de ventilação, salvaguardando os interesses dos seus ocupantes. Desenvolveram-se, por isso, vários sistemas de ventilação natural.

Existem envidraçados com sistemas que, sob a pressão do vento, permitem as trocas de ar automaticamente. A entrada de ar situa-se na parte superior da janela que garante um fluxo de ar por convecção na habitação, como se pode observar na Figura 2.7.



Figura 2.7 – Exemplos de aberturas de ventilação em caixilharias [13] [14]

Outro sistema existente, é através das caixas de estore. Este sistema que permite a entrada de ar nos compartimentos pelas aberturas localizadas nas caixas de estore, origina entrada de ruído. Este efeito negativo corrige-se com a instalação de entradas de ar com grelhas tipo venezianas e auto-reguláveis isoladas acusticamente, como se pode ver na Figura 2.8.

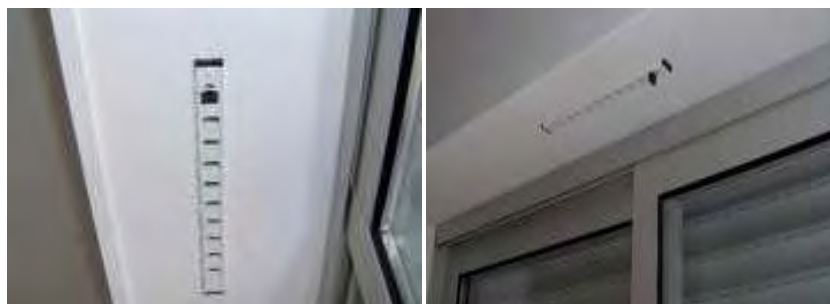


Figura 2.8 – Exemplos de grelhas de ar nas caixas de estore [15]

2.2 Certificação energética

2.2.1 Papel da certificação e seus objectivos

Como é objecto desta dissertação o estudo do comportamento térmico, neste capítulo far-se-á a apresentação e exposição do sistema de certificação energética nacional.

Portugal é um país com escassos recursos energéticos próprios, nomeadamente, aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos (como o petróleo, o carvão e o gás). Tal situação de escassez conduz a uma elevada dependência energética do exterior (84,1% em 2006), nomeadamente das importações de fontes primárias de origem fóssil. Importa assim aumentar a contribuição das energias renováveis: hídrica, eólica, solar, geotérmica, biogás, lenhas e

resíduos [16].

De acordo com estas afirmações verifica-se que existe um grande gasto de energia fóssil, que influi negativamente no desenvolvimento económico-ambiental do país. Este consumo excessivo não só é elevado perante as metas de Quioto como se encontra acima do resto dos países europeus. Estes gastos exorbitantes (desperdícios) comportam malefícios não só a nível económico, pois o desenvolvimento é mais lento, mas também, e essencialmente a nível ambiental e social.

Perante esta realidade, que se agrava com o desaparecimento dos combustíveis fósseis e consequente aumento do seu custo, é importante começar a usar, racionalmente, a energia, salvaguardando o futuro.

A Figura 2.9, representa a distribuição do consumo de energia final por sector no ano de 2006.



Figura 2.9 - Consumo de energia por sector em 2006 [17]

O sector dos edificios, que inclui os edificios dos subsectores doméstico e de serviços, consome cerca de 30% do total de energia, o que faz com que seja fundamental que se intervenha no sistema da construção de forma a baixar o consumo de energia no sector.

Para isso criou-se com a publicação de um pacote legislativo que engloba: o RCCTE [1], Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios; o RSECE [3], Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios; e o SCE , Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, um sistema de gestão de energia, gerido pela ADENE [18], Agência para a Energia, que centra a sua actividade na promoção e implementação de medidas de eficiência energética.

As normas desta legislação tem como principal objectivo baixar entre 20 a 40% o gasto de energia nos edificios.

Além deste são também objectivos:

- informar os consumidores sobre a qualidade térmica do “produto”, permitindo-lhe comparações objectivas entre várias ofertas;
 - pressionar os promotores, criando condições favoráveis à melhoria da qualidade térmica/energética dos edifícios (novos ou reabilitados) que entram no mercado imobiliário;
 - aumentar a eficiência média do sector dos edifícios, reduzindo a dependência externa da EU e contribuindo para o cumprimento dos objectivos de Quioto.
- [19]

2.2.2 Classificação energética

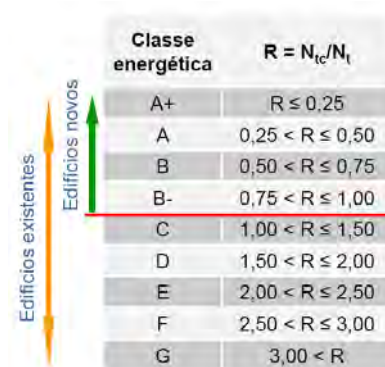
A classificação de um edifício, é o materializar do trabalho desenvolvido pelos técnicos no momento da concepção do edifício, e que teve por base a aplicação do RCCTE [1] e do RSECE [3]. Esta classificação vai ser importante, para o comprador e utilizador finais relativamente à eficiência energética do edifício ou fracção, de modo a que consiga calcular o seu gasto de energia com a utilização do edifício. Na perspectiva do vendedor, a classificação, vai certificar a qualidade do seu produto, no âmbito do conforto e da energia, sendo que, quanto mais elevada for, mais valor terá o produto: o edifício.

A classificação é dada pelo Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior, emitido por um perito qualificado para cada edifício ou fracção autónoma. Para além do certificado emitido quando for efectuado o pedido de alvará de utilização, é também passada uma declaração de conformidade regulamentar na fase de licenciamento, ambos emitidos no âmbito do SCE. Tanto a declaração como o certificado contêm a classificação do imóvel ao nível do seu desempenho energético.

A classificação é sempre determinada com base em pressupostos nominais (condições típicas ou convencionadas de funcionamento), estas condições resultam das metodologias do RCCTE [1] e do RSECE [3] para limitação das necessidades/consumos energéticos e permite a comparação de edifícios em função da qualidade da sua envolvente e das características e eficiência dos seus sistemas energéticos. Importa realçar que os valores registados num certificado ou declaração de

conformidade não reflectem necessariamente os consumos reais medidos de um edifício, pois estes dependem essencialmente do comportamento dos utilizadores.

A avaliação é efectuada com base numa escala de avaliação, que vai da letra G, o nível mais baixo de eficiência energética, até à classificação A+, classificação mais alta ao nível da eficiência energética, perfazendo um total de nove classes de avaliação de nível energético. Na Figura 2.10 representa-se a referida escala de classificação.



Classe energética	$R = N_{tc}/N_t$
A+	$R \leq 0,25$
A	$0,25 < R \leq 0,50$
B	$0,50 < R \leq 0,75$
B-	$0,75 < R \leq 1,00$
C	$1,00 < R \leq 1,50$
D	$1,50 < R \leq 2,00$
E	$2,00 < R \leq 2,50$
F	$2,50 < R \leq 3,00$
G	$3,00 < R$

Figura 2.10 - Escala de classificação do nível energético de um edifício ou fracção [18]

A classificação energética de edifícios de habitação (com e sem sistemas de climatização) e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização ou com sistemas de climatização ou aquecimento de AQS com potência instalada inferior ou igual a 25 kW, é calculada a partir da expressão $R = N_{tc}/N_t$, em que “ N_{tc} ”, Necessidades Nominais Globais de Energia Primária, é o valor que equivale ao consumo da fracção e representa as necessidades anuais globais estimadas de energia primária para climatização e aquecimento de águas sanitárias; e “ N_t ”, Valor Máximo das Necessidades Globais de Energia, é o respectivo valor máximo regulamentar.

2.2.3 Panorama europeu

No âmbito europeu, existem estudos da Comissão Europeia, tais como o estudo “*Energy Performance of Buildings - Calculation procedures used in European countries*” [20].

Este relatório coordenado pelo Instituto Belga de Investigação de Edifícios, compara a metodologia aplicada em vinte e um países, entre os quais Portugal, para o cálculo do desempenho energético dos edifícios com base nos regulamentos de cada país. Aborda igualmente as semelhanças e divergências dos regulamentos e as razões associadas.

O estudo começa por explicar o que é a regulação da performance energética de um edifício, para isso estabelece o seguinte pressuposto:

$$Ep \leq E_{pm\acute{a}x}$$

Sendo Ep , o indicador que representa o consumo energético ou a emissão de CO₂, do edifício. Este indicador é calculado através de um procedimento que leva em conta as características do edifício e das suas instalações técnicas.

$E_{pm\acute{a}x}$, é o limite de consumo energético máximo definido para o edifício, que se está a avaliar, sendo que este limite pode variar pois, seguindo o estudo, é uma questão económica ou política.

Relativamente a Portugal o $E_{pm\acute{a}x}$ é calculado através de parâmetros de referência, enquanto que noutros países é calculado através de fórmulas. Os parâmetros considerados referem-se ao tamanho do edifício, forma de construção do edifício, dados meteorológicos, temperatura interna, ganhos internos, tamanho das janelas, orientação das janelas, sombreamento, iluminação e taxa de ventilação. As vantagens de usar este tipo de procedimento consistem em: utilizar a mesma referência para todos os tipos de edifícios; permitir a liberdade arquitectónica, permitir neutralizar o impacto de certos tipos de parâmetros, como o uso de aparelhos mais eficientes. As desvantagens relativas à utilização deste método consistem em que o $E_{pm\acute{a}x}$ é expresso de uma forma mais complexa, são precisos dois cálculos e não incentiva a poupança de energia em elementos neutros. De referir que este método é usado em mais quatro países dos vinte e um incluídos no estudo, sendo eles, a Finlândia, a França, a Grécia e a Suécia. O resto dos países envolvidos no estudo usa uma fórmula para chegar ao valor de $E_{pm\acute{a}x}$.

De seguida o estudo fala da cobertura do regulamento ao nível energético. Esta cobertura refere-se a verificar se o regulamento de cada país abrange as seguintes áreas: transmissão, ventilação, ganhos internos e solares, conforto no Verão, sistemas de aquecimento e arrefecimento, iluminação e energias renováveis. De referir que os regulamentos em Portugal só cobrem três aspectos: transmissão de energia, ventilação e ganhos solares. Apenas a Holanda e a Bélgica, que só estuda a zona Flamengo, é que possuem um regulamento que cobre todas as áreas, acima referidas.

Devido às várias formas de calcular a $E_{pm\acute{a}x}$, ao nível dos vários países, isto faz com que não seja viável fazer uma analogia ao nível da $E_{pm\acute{a}x}$ para os casos de estudo. Assim sendo, o estudo focou-se em analisar o valor de U , coeficiente de transmissão térmica superficial, que se define como, a quantidade de calor por unidade de tempo que

atravessa a área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa [20], para os vários países.

Este estudo foi aplicado a quatro zonas do edifício: coberturas, envolvente vertical, envolvente horizontal, pisos térreos e janelas. No mapa da Figura 2.11 encontram-se os resultados médios encontrados para os vários países (referidos à respectiva capital).

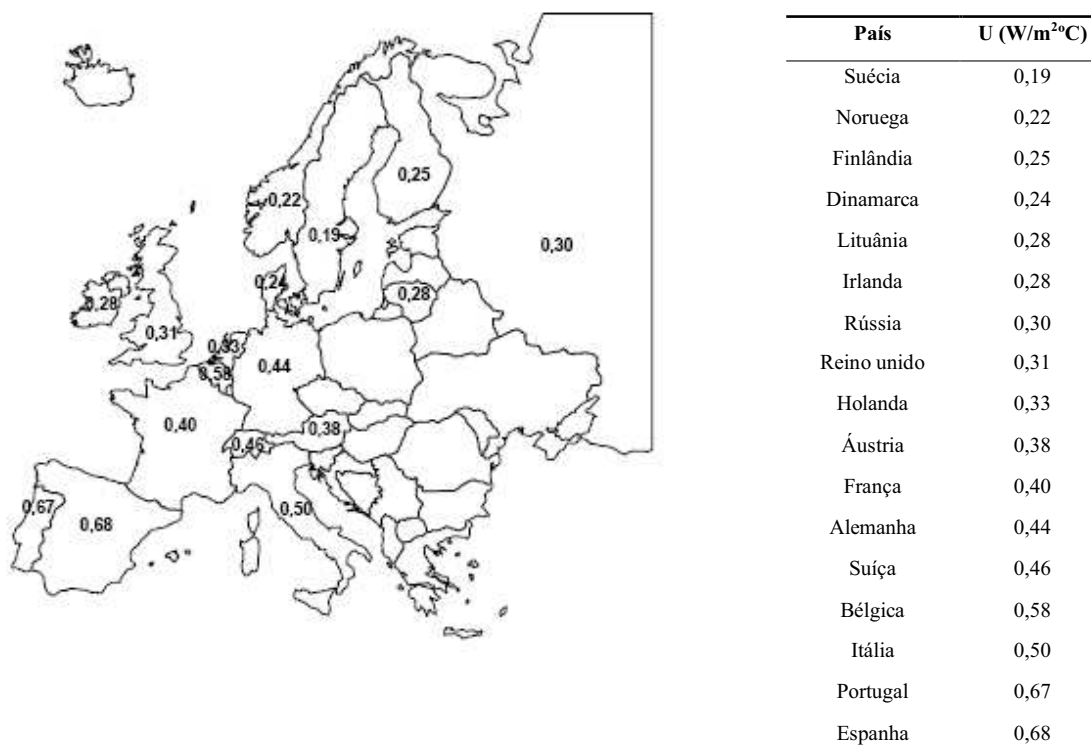


Figura 2.11 - Valores médios dos coeficientes de transmissão térmica (U) na capital de vários países europeus [20]

Analisando os valores da Figura 2.11, conclui-se que os países do sul, Portugal, Itália, Espanha têm valores de U mais altos do que os países do Norte da Europa, tendo esses países maiores exigências ao nível térmico.

Referente ao nível energético, conclui-se que este pode ser expresso de três formas, energia líquida, energia final ou energia primária. Sendo: energia líquida, a quantidade líquida de energia fornecida por um determinado combustível, calculada diminuindo-se da quantidade total de energia do combustível, a energia gasta para produzi-lo; energia final, a energia tal como é disponibilizada, nas suas várias formas (electricidade, combustíveis, gás, etc.), às actividades económicas e às famílias; energia primária, a energia como entra no sistema energético; a energia primária é a forma generalizada de

expressar o nível energético apresentando, apenas o Reino Unido e a Grécia têm um limite para o impacto ambiental em forma de CO₂. O estudo conclui igualmente que existe uma tendência para a inclusão de mais fluxos de energia nos regulamentos.

2.3 Construção em madeira

2.3.1 Madeira na construção

O uso da madeira na construção vem desde os tempos pré-históricos, onde os meios eram escassos e rudimentares, até aos dias de hoje. Conhecendo a pedra, e tendo provavelmente já noção das suas possibilidades de suporte ao contemplar o tecto da caverna onde habitava, a primeira viga terá surgido ao homem, sob a forma de um tronco de árvore caído da margem de um curso de água e sobre o qual pôde passar confiadamente [22].

Seguindo o raciocínio da citação anterior, pode afirmar-se que a madeira é um material de construção que acompanhou a evolução deste sector.

Numa análise histórica, constata-se que a madeira foi o material que proporcionou ao homem sair das cavernas construindo cabanas onde começou a habitar.

Existem informações de construções no VII milénio antes de Cristo e que definem as construções da seguinte forma: a infra-estrutura das casas é constituída por uma verdadeira armação de estacas espetadas no chão, sustentando as forquilha superiores vigas não esquadriadas sobre as quais podia assentar um soalho. Reconhece-se aqui um nível técnico que permite trabalhar a madeira e cavar no solo os buracos onde serão espetadas as estacas [22].

Falando um pouco da madeira em Portugal, destaca-se o período a seguir ao terramoto que atingiu o país e mais violentamente a cidade de Lisboa em 1755. Este terramoto teve efeitos devastadores sobre a cidade, sendo necessária a sua posterior reconstrução. Esta reconstrução teve na madeira um importante aliado, pois a maioria dos edifícios estão assentes em estacas de madeira devido à natureza pantanosa do solo. Além disso foi concebido um sistema anti-sismo chamado “gaiola pombalina”, que se situava dentro das paredes de alvenaria e tinha por função fazer com que as paredes, aquando de um sismo, vbrassem em conjunto.

Conhecida como a Baixa Pombalina, esta zona de Lisboa, continua a ser considerada uma obra de engenharia de grande envergadura. A Baixa Pombalina representa uma

obra-prima do génio da criatividade humana, porque pode ser considerada como a “primeira” cidade moderna do mundo ocidental. [23]

Os sistemas de construção, até à chegada do betão armado, foram sempre baseados nos métodos das casas da Baixa Pombalina: paredes de alvenaria que suportam os barrotes, que por sua vez suportam o piso em soalho de madeira. Este tipo de construção corresponde aos edifícios chamados de “Edifícios Pombalinos” e que marcaram a época de 1755 a 1880. A segunda época, relativa aos edifícios da Baixa Pombalina, pertence ao período de 1880 a 1940 sendo estes edifícios nomeados de Edifícios Gaioleiros. Caracteriza-se por paredes interiores (frontais pombalinas) substituídas por alvenarias ou por tabiques de madeira, pavimentos em madeira, maior número de pisos, marquises em ferro fundido. De 1940 a 1960, refere-se à terceira época, sendo estes edifícios conhecidos por Edifícios de “Placa”. Caracterizam-se por paredes interiores de alvenaria, pavimentos de madeira substituídos por lajes finas de betão, marquises e varandas em betão armado.

Pode dizer-se que a partir desta época o betão armado generaliza-se na construção em Portugal.

Em 1998, realiza-se em Lisboa a Exposição Mundial de Lisboa, abreviadamente denominada Expo 98. Para o efeito construíram-se, além de outros, o Pavilhão Atlântico, de arquitectura moderna com a cobertura em *glulam*¹. *Glulam*, é um composto de madeira (na construção do Pavilhão Atlântico foi usado o pinho nórdico devido à sua elevada resistência), formado por lâminas coladas para que as fibras fiquem orientadas segundo o mesmo eixo. Com este processo obtém-se uma madeira com resistência superior à matéria-prima original.

Esta construção introduz, de novo, a ideia de se utilizar, a madeira na construção.

Para além do *glulam* existem variadíssimos derivados da madeira usados na construção, tais como: o Aglomerado Melaminico; o OSB (*Oriented Strand Board* ou aglomerado de partículas de madeiras longas e orientadas); Placas MDO (*Medium Density Overlay*), contraplacados, tri-capa estrutural; HPL – painéis fenólicos; *Kerto*, madeira micro laminada, outros acessórios para placas e derivados.

¹ Madeira lamelada colada.

2.3.2 Habitações em madeira

Existem vários sistemas construtivos usados na concepção das habitações em madeira. A madeira, para além de ser usada estruturalmente, é aplicada em elementos não-estruturais (revestimentos, rodapés, portadas...).

Os sistemas construtivos que mais se destacam são:

- sistema de prumos leves;
- construção em madeira maciça;
- madeira estrutural.

Nas Figuras, 2.12, 2.13 e 2.14 é possível observar exemplos dos sistemas referidos anteriormente.



Figura 2.12 – Edifícios construídos através do sistema de prumos leves [24]



Figura 2.13 – Centro da Idade da Pedra em Kierikki, Finlândia, executado em madeira maciça [25]



Figura 2.14 – Globo da Ciência e Inovação em Cern, Suíça, estrutura em madeira lamelada colada [26]

2.3.2.1 Sistema de prumos leves

O sistema construtivo de prumos leves é o usado pela empresa Protoconcept.

Este sistema é muito usual na América do Norte, mais de 90% das habitações dos Estados Unidos da América e do Canadá são construídas através deste sistema.

É cada vez mais usado pelos construtores, que devido ao sistema construtivo a seco (todas as peças chegam pré-fabricadas à obra), está a implantar-se em grande escala na Europa, especialmente no Reino Unido.

O sistema de prumos leves, pode ser dividido em dois tipos, o “*balloon frame*”, que se caracteriza por uma série de vigas unidas aos pilares, cuja altura é igual à altura total do edifício, e pelo sistema *plataforma*, que se caracteriza por o piso de cada planta servir de apoio para a execução do piso superior, em que os elementos verticais têm a altura de um piso. Este sistema é mais recente que o “*balloon frame*”.

Os elementos verticais servem de apoio aos painéis de OSB, que tornam a fachada opaca e efectuam o contraventar da estrutura. Entre os painéis há uma caixa-de-ar com cerca de 20 cm, onde se coloca isolante térmico/acústico.

O revestimento pelo lado interior pode ser executado em gesso projectado, situação mais vulgar, ou outro tipo de revestimento adequado. No lado exterior os painéis são envoltos numa tela pára-vapor, que tem por finalidade proteger a estrutura de possíveis humidades originadas pela condensação proveniente do interior. Por fim, são colocados painéis de compacto fenólico, “*abete laminati*”, abertos no fundo da estrutura para formarem uma fachada ventilada. Este aspecto vai fazer com que se eliminem possíveis patologias derivadas de humidade ou de fungos. Na Figura 2.15 é possível ver alguns dos aspectos referidos anteriormente.



Figura 2.15 – Processo de construção e produto final de uma habitação em madeira fabricada pela empresa Protoconcept: painéis OSB, instalações, isolante, estrutura dos prumos e gesso cartonado

A laje de piso, no caso de ser térrea, é apoiada em lintéis de betão armado pré-fabricados. No caso de existir pisos subterrâneos a estrutura apoia nas paredes do piso inferior.

A laje de piso é, estruturalmente, constituída por elementos em “I” e madres de pavimento.

Os elementos em “I”, suportados pelas madres, que diminuem o vão livre e concedem estabilidade à estrutura, têm por função suportar o pavimento. A estes são fixados painéis OSB (superiores e inferiores) revestidos, tendo os inferiores isolamento térmico na face superior. Entre os painéis existe uma caixa-de-ar de 25 cm ficando o revestimento da laje assente nos painéis de OSB superiores.

Na Figura 2.16 é possível observar uma laje em construção.



Figura 2.16 – Concepção de uma laje de pavimento de uma moradia da empresa Protoconcept

A laje de tecto é, estruturalmente, igual à do pavimento. É suportada pelas paredes e diferencia-se pela colocação de vigas de pendente sobre o painel OSB superior, que suportam o revestimento da laje. Sob o painel inferior é fixado o tecto falso com uma caixa-de-ar de cerca de 20 cm, que pode ser aproveitada para a colocação de cablagem e tubagens, como se pode ver na Figura 2.17.



Figura 2.17 – Colocação de tubagens numa habitação da empresa Protoconcept

Em suma, este sistema tem vantagens, destacando-se a:

- baixa mecanização dos elementos estruturais;
- adaptabilidade do desenho e flexibilidade para posteriores remodelações;
- capacidade de condução das tubagens entre os elementos verticais;
- facilidade e rapidez de execução.

2.3.2.2 Construção com madeira maciça

No que respeita à madeira maciça industrializada, esta é mais usada nos países escandinavos e nos países do centro da Europa.

Este sistema pode definir-se como um processo em que se unem superfícies e volumes resistentes através da união de tábuas por processos de pregagem, aparafusamento e colagem.

Este sistema construtivo, usado desde habitações unifamiliares até pontes de pequeno porte, tem por base um sistema de construção antigo caracterizando-se como sendo uma estrutura compacta de madeira, que proporciona maior conforto térmico com menor consumo de energia, como se pretende comprovar neste estudo.

A madeira usada neste sistema não tem as mesmas exigências de qualidade que a madeira usada noutros sistemas. Ou seja, defeitos como fissuras de serragens, nodosidade não são considerados na rigidez da estrutura. Como se usam peças de

madeira compacta os defeitos são minimizados escolhendo-se, cuidadosamente e por razões arquitectónicas/estéticas, a madeira que fica à vista.

Apesar de ser usada maior quantidade de madeira, o custo de construção não se eleva devido à madeira não ser por vezes da melhor qualidade.

A madeira maciça é igualmente usada em combinação com outros materiais de construção, como por exemplo, numa estrutura de betão armado, podem ter-se lajes de madeira maciça, retirando peso à estrutura sem que haja decréscimo da capacidade resistente e de serviço.

Na Figura 2.18 apresentam-se exemplos de construções executadas com madeira maciça.



Figura 2.18 – Exemplos de habitações em madeira maciça [27]

2.3.2.3 Madeira como material estrutural

Como anteriormente referido a madeira é um dos materiais estruturais mais antigos utilizados pelo homem na construção de edificações. No entanto, verificou-se nas últimas décadas em Portugal, uma quase total substituição da sua utilização como material estrutural pelo betão armado e pelo aço, tendo passado a madeira apenas a ser utilizada em elementos secundários e revestimentos. [28]

O panorama descrito na afirmação reflecte a realidade em Portugal. Porém, surgem novas ideias e conceitos para contrariar o cenário actual no que respeita à construção em madeira. Estas novas ideias e conceitos surgem para se minimizarem os problemas ambientais e para se obter uma construção mais sustentável.

Olhando para os materiais estruturais, a madeira é a única que provém de um meio regenerativo.

Ao nível estrutural, segundo alguns estudos, comparando o peso dos elementos, conclui-se que um elemento em aço para suportar a mesma carga precisa dum elemento

com mais 1,5 de peso que um elemento em madeira, o betão pré-esforçado de 3,5 vezes mais e em betão armado de 5 vezes mais.

Os elementos estruturais em madeira podem ser em:

- madeira maciça;
- madeira lamelada colada (*glulam*);
- madeira micro laminada (*kerto*);
- vigas em “T”;
- painéis “*sandwich*” em madeira;
- painéis pré-fabricados.

No ponto anterior já foram abordadas as características respeitantes à madeira maciça.

A madeira lamelada, é fabricada com lâminas cortadas na direcção da fibra e coladas entre elas. A cola utilizada pode ser de resorcina (escura) ou de melamina (clara). A madeira lamelada colada ao nível estrutural apresenta várias vantagens:

- excelente relação entre o peso e a resistência mecânica;
- perfeita homogeneidade e isotropia;
- estabilidade dimensional;
- resiste a várias agressões, ao fogo, a ambientes químicos agressivos, variações higrotérmicas, solicitações ligadas ao transporte, montagem e manutenção, cloro de piscinas e ambientes marítimos.

A nível arquitectónico este material é muito versátil, pois permite adaptá-lo a vários formatos. Para além disso, permite vencer vãos consideráveis, e com isso proporciona espaços amplos. Um exemplo deste tipo de madeira usado no nosso país é a cobertura do Pavilhão Atlântico. Na figura 2.19 podem ser vistos alguns exemplos de estruturas concebidas com este material.



Figura 2.19 – Globo da Ciência e Inovação em Cern, Suíça, estrutura em madeira lamelada colada [26]

A madeira micro laminada (*kerto*) permitiu a concepção de estruturas que raramente são executadas em madeira, como por exemplo piscinas.

Este material é composto por três lâminas de abeto com 3 mm de espessura, desenroladas e posteriormente coladas a quente para formar grandes painéis, a partir dos quais se obtêm peças para fabricar elementos estruturais.

Existem dois tipos desta madeira, designados comercialmente como *kerto - S* e *kerto - Q*.

O *kerto - S*, as fibras estão orientadas longitudinalmente em todas as lâminas. É a solução ideal para aplicações que requeiram grandes vãos com deformação mínima.

O *kerto - Q*, em que algumas fibras são coladas perpendicularmente, é ideal para ser utilizado como painel. As lâminas cruzadas dão ao *kerto - Q* uma resistência adicional transversal, permitindo aos painéis serem utilizados como contraventamento para aumentar a estabilidade estrutural. Na Figura 2.20 podem ser vistos o *Kerto S* e *Q* e na Figura 2.20 apresenta-se um exemplo de uma construção usando *Kerto Q*.



Figura 2.20 *Kerto S* e *Kerto Q* [29]



Figura 2.21 – Exemplo de estrutura em *Kerto* [30]

As vigas em “I” servem sobretudo para a execução de lajes de piso e de cobertura. Este tipo de vigas veio substituir o soalho tradicional, trazendo algumas vantagens em relação ao tradicional piso de madeira maciça. Vantagens que se prendem sobretudo com:

- o peso (solução mais leve);
- rapidez de montagem;
- ausência de cofragem;
- segundo os fabricantes em reabilitação é desnecessário reforçar ou reconstruir uma nova estrutura para suportar esta nova laje;
- fácil manuseamento e colocação;
- ausência de meio de elevação de pesos;
- permite a passagem de tubagens através da laje;
- desmontável.

As vigas em “I” são fabricadas em OSB na alma, e as falanges em madeira micro-laminada (*kerto*).

De seguida pode ver-se na Figura 2.22, uma parte de uma laje executada com vigas I.



Figura 2.22 – Estrutura resistente de uma laje em vigas I [31]

Relativamente ao Painel “*Sandwich*”, tem por função para além de ser uma peça estrutural, ser um elemento de revestimento interior e de isolamento térmico. Este tipo de material é usado em coberturas inclinadas, com uma inclinação mínima de 10%.

Este material é composto por três camadas, a camada exterior em aglomerado hidrófugo com uma espessura de 10 ou 19 mm; a camada intermédia, isolante térmico em poliestireno extrudido de 30 kg/m³, com 30, 40, 50, 60 ou 80 mm de espessura; e a

camada interior pode ser em OSB, contraplacado, *viroc*², gesso cartonado ou aglomerado hidrófugo.

As grandes vantagens deste material são:

- estruturas simples, leves e resistentes;
- aplicação fácil e rápida;
- aproveitamento do desvão da cobertura;
- poder ser aplicado sobre estruturas de betão, metálicas e madeira.

Na Figura 2.23 pode ver-se uma amostra de painel “*sandwich*”.



Figura 2.23 – Paineis “*sandwich*” [31]

Os painéis pré-fabricados são um composto de ripas de casquinha branca, coladas a vácuo com cola melamina classe E1.

Este tipo de material é aplicado em telhados ou em paredes que tenham uma função estrutural. As principais vantagens são:

- liberdade de desenho;
- sistema pré-fabricado;
- rapidez de montagem;
- ecológico, material estável com bom isolamento térmico e acústico.

Na Figura 2.24 pode ver-se uma construção usando painéis pré-fabricados.

² Material composto constituído basicamente por dois dos principais materiais de construção: cimento e madeira



Figura 2.24 – Construção com painéis pré fabricados [31]

2.3.3 Especificidades da construção em madeira

A madeira como material de construção tem diversas vantagens, destacando-se:

- pode ser obtida em grandes quantidades a um preço relativamente baixo. As reservas renovam-se por si mesmas tornando o material permanentemente disponível;
- pode ser produzida em peças com dimensões estruturais que podem ser rapidamente desdobradas em peças pequenas, de delicadeza excepcional;
- pode ser trabalhada com ferramentas simples e ser reempregue várias vezes;
- foi o primeiro material empregue, capaz de resistir tanto a esforços de compressão como de tracção;
- tem uma baixa massa volúmica e resistência mecânica elevada. Pode apresentar a mesma resistência à compressão que um betão de resistência razoável. A resistência à flexão pode ser cerca de dez vezes superior à do betão, assim como a resistência ao corte;
- permite ligações e emendas fáceis de executar;
- não estilhaça quando submetida a choques bruscos que romperiam ou fendilhariam outros materiais de construção;
- apresenta boas condições naturais de isolamento térmico e absorção acústica;
- no seu aspecto natural apresenta grande variedade de padrões [32].

Por sua vez, os aspectos negativos do uso da madeira como material de construção são:

- é um material fundamentalmente heterogéneo e anisotrópico;
- é bastante vulnerável aos agentes externos, e a sua durabilidade é limitada, quando não são tomadas medidas preventivas;
- é combustível;

- mesmo depois de transformada, quando já empregue na construção, a madeira é muito sensível ao ambiente, aumentando ou diminuindo de dimensões com as variações de humidade;
- as dimensões são limitadas: formas alongadas, de secção transversal reduzida [32].

A madeira, como material de construção, tem características físicas, químicas e mecânicas.

As características químicas médias, variam pouco no estado anidro (não contém, ou quase não contém água na sua composição), em qualquer tipo de madeira, contendo:

- Carbono 49%;
- Hidrogénio 6%;
- Oxigénio 43%;
- Azoto 1%;
- Cinzas (matéria mineral) 1% [32].

As características físicas são:

- humidade, existe em três estados, água de constituição, água de embebição e água livre;
- retracção, é a propriedade da madeira de alterar as dimensões quando o seu teor de água se modifica. Esta instabilidade constitui um dos mais graves defeitos da madeira; diz-se que a madeira “joga”, inchando ao absorver humidade e contraindo-se ao perdê-la;
- massa volúmica, a massa volúmica varia entre 100% e 1500% para um teor de água de 12%;
- dilatação térmica, na prática as variações das dimensões são desprezáveis devido à retracção;
- condutibilidade térmica, esta característica varia com o grau de humidade da madeira, variando inversamente ao grau de humidade da madeira;
- inflamabilidade, a madeira arde espontaneamente aos 275°C. Num incêndio normal a velocidade de combustão é cerca de 1cm em quinze minutos, um barrote poderá resistir cerca de uma hora [32].

Estão indicadas no Quadro 2.10 as propriedades físicas e mecânicas das espécies mais usadas.

Quadro 2.10 – Propriedades físicas e mecânicas de alguns tipos de madeira [32]

Valores médios (para H = 12%) provetes pequenos e sem defeitos		Pinho Bravo	Câmbala Milícia régia	Câmbala Milícia excelsa	Casquinha Redwood	Casquinha Scotspine	Criptoméria	Eucalipto comum	Tola branca	Undianumo
Propriedades físicas										
Massa volumica (kg/m³)		530 - 600	580	620	400	530	280	750 - 850	480	520 – 720
Coeficie ntes de retracção unitária (%/%)	Tangen cial	0,36	0,26	0,24	0,19	0,33	0,21	0,36	0,25	0,23
	Radial	0,21	0,15	0,17	0,11	0,17	0,04	0,21	0,11	0,13
	Volúmi ca	0,60	0,41	0,41	0,29	0,53	0,26	0,60	0,35	0,36
Propriedades mecânicas										
Flexão estática	T. rotura (MPa)		98,5	111	69	98	42	127,5	94	85
	M. elastici dade (GPa)		-	11,27	9,25	11,76	3,7	17,5	8,11	9,8
Tracção longitudinal: T. rotura (MPa)			-	78	-	102	-	-	-	60
Tracção transversão: T. rotura (MPa)			2,1	2,5	1,7	2,9	1,4	3,4	1,7	2,0
Compressão longitudinal: T. rotura (MPa)			47,3	68	42	54	21	49,1	39	45
Corte: T. rotura (MPa)			9,02	10,8	1,5	9,8	4,6	13,7	7,9	7,8
Fendimento: F. unitária rotura (Kgf/cm)			15	-	-	-	20	15	9	-
Dureza (KN)			1,79	3,2	-	-	-	-	-	3,7

2.3.4 Desempenho térmico

Para se avaliar o comportamento térmico da madeira é necessário conhecer as suas características térmicas, que se definem por:

- calor específico;
- condutibilidade térmica;
- dilatação térmica;
- capacidade de isolamento térmico.

O calor específico (cp) é a quantidade de energia em J/kg.°C, necessária para que haja o aumento de 1°C num kg de material e varia com o seu teor de humidade.

O calor específico da madeira é da ordem de 1,48 J/kg °C, valor considerado elevado em relação a outros materiais.

A condutibilidade térmica (λ), expressa a quantidade de calor que atravessa, na unidade de tempo, uma superfície de área unitária, para uma diferença unitária de temperatura entre essa superfície e outra situada a uma distância unitária e varia com a densidade, com o teor em humidade e com a temperatura do material. As unidades em que esta grandeza está expressa são W/m °C.

O comportamento de um material como isolante térmico depende do valor desta característica, ou seja quanto menor é o valor da condutibilidade térmica de um material melhor isolante ele é.

Consultando o ITE50 [33] o valor da condutibilidade térmica mais alto verifica-se para madeiras muito densas, igual a 0,29 W/m °C.

A dilatação térmica, δL (m/m), é a variação de volume devido ao calor, sem ter o fenómeno da retracção (propriedade da madeira de alterar as dimensões quando o seu teor de água se modifica).

Entende-se por isolamento térmico, U (W/m²°C), a capacidade intrínseca do material em impedir a passagem de calor através dele. Como já referido, esta capacidade depende do valor da condutibilidade térmica do material, que na madeira é baixo, sendo por este motivo utilizada como isolante nos países com climas mais agressivos.

No Quadro 2.11, é possível ver alguns valores da condutibilidade térmica (λ), de vários tipos de madeira reforçando a ideia de que a madeira é um bom isolante térmico.

Quadro 2.11 – Valor da condutibilidade térmica (λ) de vários tipos de madeira [33]

Madeiras e derivados	Massa volúmica aparente seca, ρ [kg/m ³]	Condutibilidade térmica, λ [W/(m°C)]
Balsa	≤ 200	0,057
Madeiras muito leves (excluindo balsa)	200 – 435	0,13
Madeiras leves	435 – 565	0,15
Madeiras semi-densas	565 – 750	0,18
Madeiras densas	750 – 870	0,23
Madeiras muito densas	> 870	0,29
Resinosas leves	≤ 435	0,13
Resinosas semi-densas	435 – 520	0,15
Resinosas densas	520 – 610	0,18
Resinosas muito densas	> 610	0,23

Avaliando as várias características apresentadas, conclui-se de forma genuína que a madeira é um bom material de construção em termos do respectivo comportamento térmico.

2.3.5 Ligações

As ligações numa estrutura de madeira são consideradas como pontos críticos. As ligações representam entre 20 a 25% do custo global da estrutura [34].

As ligações podem ser classificadas como:

- ligações tradicionais;
- ligações mecânicas;
- ligações coladas;
- ligações entalhadas;

As ligações tradicionais caracterizam-se por serem feitas através dum trabalho de carpintaria, transmitem esforços de corte e de compressão e têm bom comportamento ao fogo.

Na Figura 2.25 encontra-se uma estrutura de madeira unida por uma ligação tradicional feita em chapa metálica.

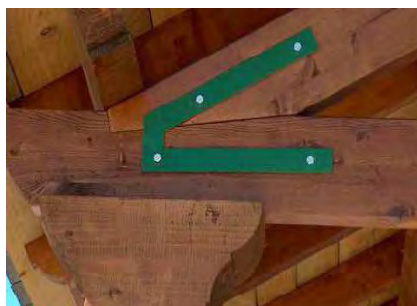


Figura 2.25 – Ligação tradicional [34]

Nas ligações mecânicas são usadas ferragens para a transmissão de esforços (pregos, placas...), podendo ser do tipo cavilha ou ligação plana.

A ligação tipo cavilha caracteriza-se pela transferência de carga se fazer por flexão e corte do ligador, e por pressão diametral e corte da madeira ao longo do seu comprimento. Cravos, cavilhas, pregos, parafusos de porca e anilha, parafusos auto-roscantes, pinos são alguns dos elementos usados neste tipo de ligação, sendo impostas distâncias e separações mínimas no seu dimensionamento.

Na Figura 2.26 é possível ver alguns dos aspectos acima mencionados, como a colocação e número de parafusos.



Figura 2.26 – Ligação mecânica tipo cavilha [34]

Na ligação tipo plana a transferência de carga é feita por distribuição numa grande área de contacto, anéis abertos ou fechados de metal ou plástico, placas circulares dentadas, chapas prensadas, com pregos ou estampadas, tacos rectangulares, como se pode observar na Figura 2.27.



Figura 2.27 – Ligação mecânica tipo plana [34]

As ligações coladas caracterizam-se pelo uso de adesivos para a transmissão dos esforços. Este tipo de ligação verifica-se em elementos de madeira lamelada colada, formando ligações rígidas através de barras coladas, como se demonstra na Figura 2.28.



Figura 2.28 – Ligação colada [34]

As ligações de entalhe, Figura 2.29, podem ser utilizadas quando a força transmitida entre as barras não tende a produzir separação das superfícies transversais em contacto. As forças são transmitidas por atrito e compressão.

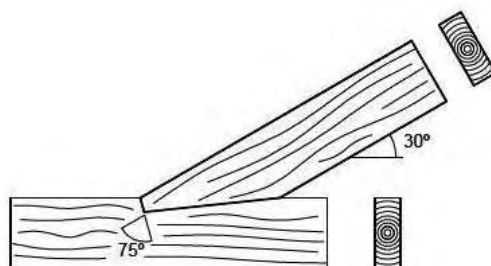


Figura 2.29 – Ligação de entalhe [35]

Capítulo 3

Apresentação do caso de estudo

Capítulo 3 – Apresentação do caso de estudo

3.1 Caracterização térmica

- 3.1.1 Zonamento climático e dados climáticos
- 3.1.2 Definição das envolventes
- 3.1.3 Envolvente opaca
- 3.1.4 Envolvente translúcida
- 3.1.5 Parâmetros dos vãos envidraçados
- 3.1.6 Espaços não úteis
- 3.1.7 Pontes térmicas
- 3.1.8 Coeficientes de transmissão térmica superficiais (U)
- 3.1.9 Taxas de renovação de ar
- 3.1.10 Ventilação natural
- 3.1.11 Inércia térmica interior
- 3.1.12 Aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS)
- 3.1.13 Verificação dos requisitos segundo o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [1]
- 3.1.14 Classe de eficiência energética
- 3.1.15 Passos para uma casa A+ (medidas de melhoria e suas consequências)
- 3.1.16 Melhoria dos vãos envidraçados
- 3.1.17 Melhoria da ventilação
- 3.1.18 Melhoria dos sistemas de aquecimento de água quente sanitária

3.2 Análise do comportamento térmico das várias soluções

- 3.2.1 Perdas térmicas
- 3.2.2 Ganhos solares térmicos
- 3.2.3 Análise das pontes térmicas

3.3 Justificação da escolha por uma casa de madeira

3.4 Avaliação de custos e período de recuperação do investimento

3. Apresentação do caso de estudo

O objecto de estudo da presente dissertação é a análise do comportamento térmico de uma habitação unifamiliar concebida e produzida pela empresa Protoconcept. No anexo I encontram-se as plantas da moradia em questão. Será feito um estudo térmico através do método preconizado pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, RCCTE [1].

Este estudo justifica-se devido às exigências de certificação energética dos edifícios, pelo que a empresa necessitou de estudar as soluções construtivas, no sentido de obter bons resultados sob o ponto de vista económico e da sustentabilidade: redução de custos e protecção do ambiente.

Na Figura 3.1 encontram-se imagens em 3D da moradia estudada.



Figura 3.1 – Vista da moradia unifamiliar, objecto de estudo

A moradia desenvolve-se num só piso, é constituída por dois quartos, um escritório, duas instalações sanitárias, uma cozinha e uma sala (consultar anexo 1 para informação geométrica).

O alçado principal está orientado a Norte, o posterior a Sul, o direito a Este e o esquerdo a Oeste.

O sistema construtivo usado é o de prumos leves. Os elementos resistentes resumem-se à laje de piso, laje de tecto e às paredes que têm uma função resistente, para além de delimitarem o espaço.

Foram estudadas três tipologias construtivas diferentes.

1. A primeira, original (solução A), foi a utilizada na execução da casa, sendo o ponto de partida do estudo. As outras soluções adoptadas e estudadas, B, B2 e C têm por base melhorar esta tipologia construtiva.
2. A segunda tipologia (solução B) sofre alterações de melhoramento que consistem no recuo da estrutura, na correcção das pontes térmicas planas e lineares, na alteração das caixilharias e vidros, na implementação de um sistema de ventilação natural, no uso de sistemas de AQS mais eficientes, esperando-se a, obtenção de uma classe energética superior para o edifício. Esta tipologia é também alvo de um estudo térmico numa zona climática I_3V_3 , mais propriamente na localidade de Valpaços (solução B2).
3. A terceira tipologia (solução C), passa por adequar a habitação a uma solução corrente, com elementos estruturais em betão armado (pilares, vigas e lajes) e a envolvente externa e interna em alvenaria de tijolo furado de barro vermelho.

A moradia unifamiliar (solução A) situa-se na localidade de Lavandeira, concelho de Vagos distrito de Aveiro (zona rural). Esta localização foi igualmente adoptada para a solução B e solução C. a fim de melhor compreender a eficiência das soluções de melhoria, a solução B2 situa-se na localidade de Valpaços, distrito de Vila Real, inserida numa zona de periferia urbana (I_3V_3).

3.1.1 Zonamento climático e dados climáticos

O zonamento climático consiste na organização do país em regiões com climas de características semelhantes e pouco variáveis. Em Portugal existem três zonas climáticas de Inverno, (I_1 , I_2 e I_3) e três zonas climáticas de Verão (V_1 , V_2 e V_3). As zonas I_1 e V_1 , são zonas de clima ameno, já as zonas I_3 e V_3 , são zonas de clima mais rigoroso, com baixas temperaturas no Inverno e altas temperaturas no Verão.

No Quadro III.1 do RCCTE [1], encontram-se os concelhos de Portugal continental, com os seus dados climáticos, valores necessários para o cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento e que variam de concelho para concelho.

O zonamento climático em que se insere a solução A, B e C é I₁V₁ (Norte). A solução B2 insere-se na zona I₃V₃ (Norte). Os dados climáticos a considerar para o estudo encontram-se no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Dados climáticos das soluções, A, B, B2 e C

Dados climáticos	Solução A, B e C	Solução B2
Número de graus dias de aquecimento (Q.III.I RCCTE [1])	1470 °C.dias	2570 °C.dias
Duração da estação de aquecimento (Q.III.I RCCTE [1])	6,7 Meses	7,3 Meses
Temperatura exterior de projecto de Verão (Q.III.I RCCTE [1])	29 °C	34 °C
Amplitude térmica média diária do mês mais quente (Q.III.I RCCTE [1])	10 °C	17 °C
Valor médio da temperatura do ar exterior (Q.III.9 RCCTE [1])	19 °C	22 °C

3.1.2 Definição das envolventes

O primeiro passo na concepção do projecto térmico é o traçado das envolventes de um edifício incluem a envolvente exterior e interior. As envolventes podem ser opacas ou translúcidas e são constituídas por paredes, pavimentos e coberturas. Os valores das respectivas áreas encontram-se nas folhas de cálculo térmico no anexo II.12 referentes a cada solução.

Nas Figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6, está apresentado o traçado das envolventes, sendo igual para todas as soluções.

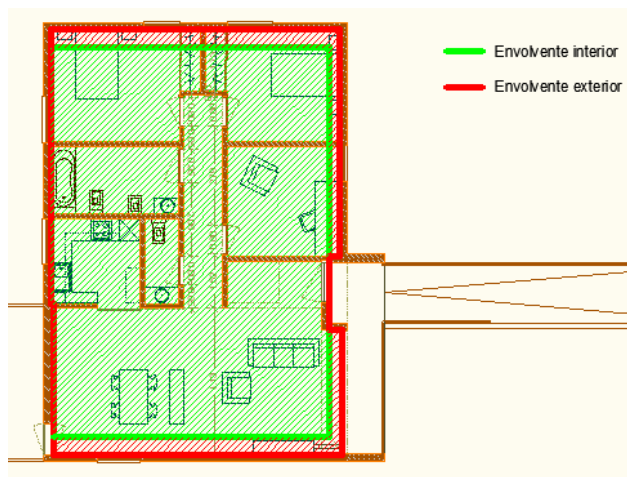


Figura 3.2 – Traçado da envolvente interior e exterior em planta ao nível do pavimento

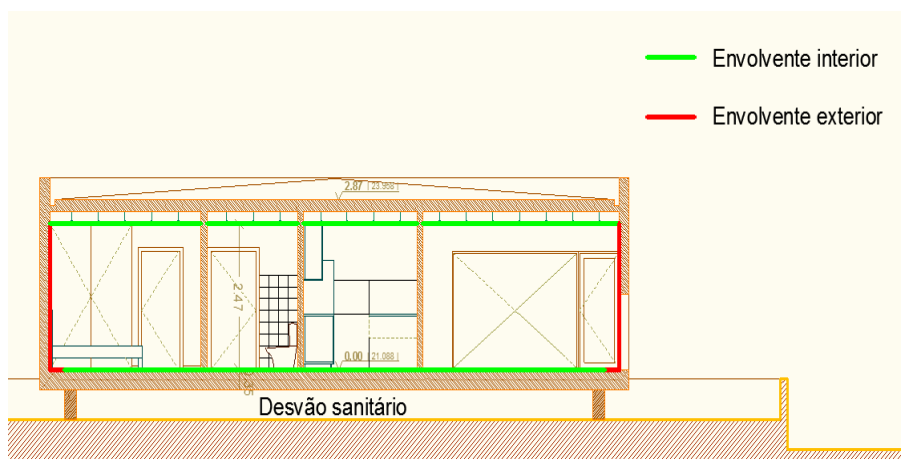


Figura 3.3 - Traçado da envolvente interior e exterior em corte

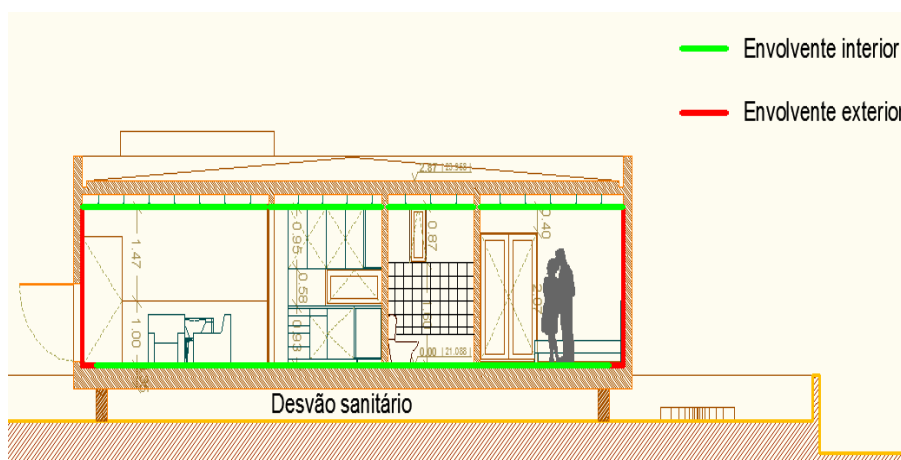


Figura 3.4 - Traçado da envolvente interior e exterior em corte

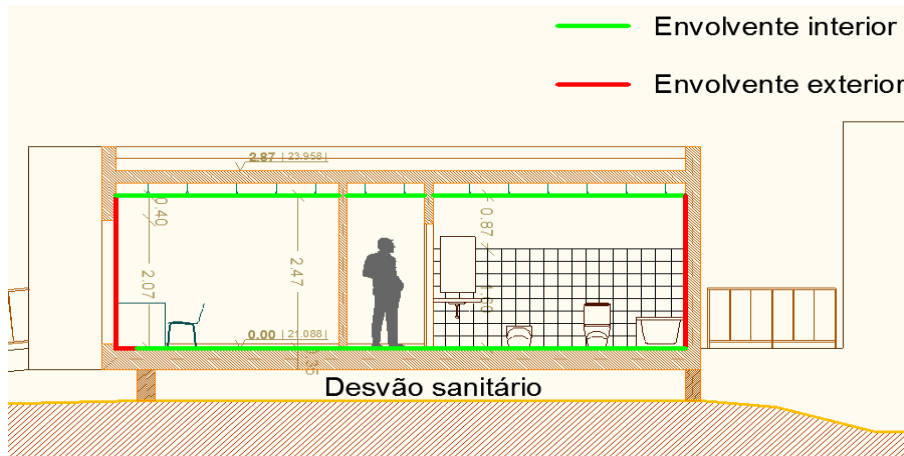


Figura 3.5 - Traçado da envolvente interior e exterior em corte

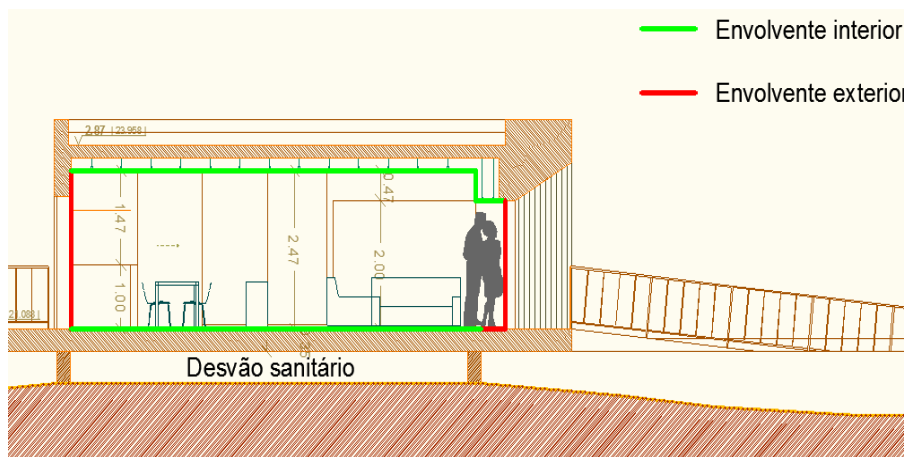


Figura 3.6 – Traçado da envolvente interior e exterior em corte

3.1.3 Envolvente opaca

A envolvente opaca deste caso de estudo é constituída por:

- paredes exteriores;
- cobertura;
- pavimento.

3.1.3.1 Paredes exteriores

As paredes exteriores de todas as soluções estudadas são constituídas por uma zona corrente e por uma zona de ponte térmica plana devido à presença de elementos estruturais existentes. Nas soluções A, B e B2 a ponte térmica plana é devida aos

prumos verticais em madeira. Na solução C as pontes térmicas, são devidas à presença dos pilares e as vigas em betão armado.

Os quadros e figuras seguintes indicam e descrevem pormenorizadamente as soluções construtivas de cada uma delas.

Quadro 3.2 – Constituição das paredes exteriores da solução A em zona corrente e em zona de ponte térmica plana

Zona Corrente	Zona de ponte térmica plana
Compacto fenólico abet laminati	Compacto fenólico abet laminati
Tela pára-vapor	Tela pára-vapor
Painel de OSB3, 1,2 cm	Painel OSB3, 1,2 cm
Placas de lâ de rocha, 6 cm	Prumo vertical, 14 ou 3,6 cm
Caixa-de-ar, 8 cm	Placas de gesso cartonado, 1,3 cm
Placas de gesso cartonado, 1,3 cm	
$U = 0,51 \text{ W/m}^2\text{°C}$	$U = 0,92/0,82 \text{ W/m}^2\text{°C}$

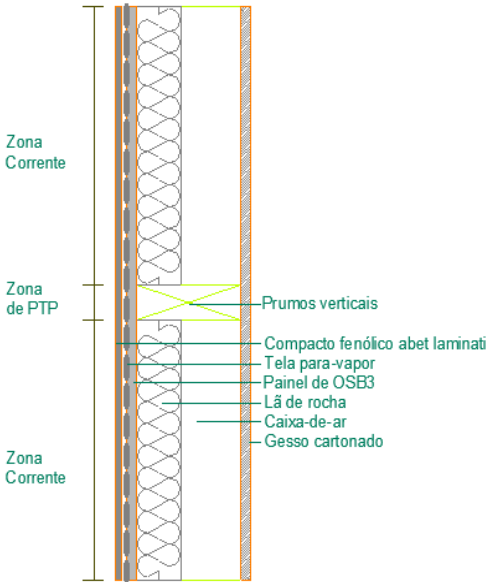


Figura 3.7 – Corte da parede exterior da solução A

Quadro 3.3 - Constituição das paredes exteriores da solução B/B2 em zona corrente

Zona Corrente	Zona de ponte térmica plana
Compacto fenólico abet laminati	Compacto fenólico abet laminati
Tela pára-vapor	Tela pára-vapor
Painel de OSB3, 1.2 cm	Painel OSB3, 1.2 Cm
Placas de lã de rocha, 6 cm	Painel de cortiça, 3 cm
Caixa-de-ar, 8 cm	Frame vertical, 14 cm ou 3,6 cm
Placas de gesso cartonado, 1.3 cm	Placas de gesso cartonado, 1.3 cm
$U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{°C}$	$U = 0,55 \text{ W/m}^2\text{°C}/0,72 \text{ W/m}^2\text{°C}$

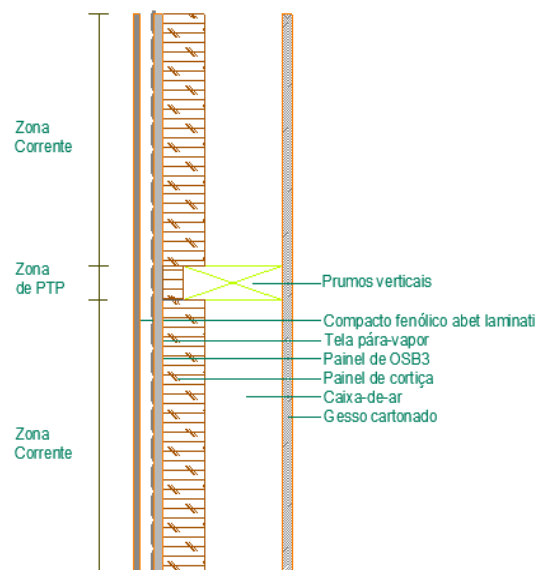


Figura 3.8 - Corte da parede exterior da solução B/B2

Quadro 3.4 - Constituição das paredes exteriores da solução C em zona corrente e ponte térmica plana

Zona Corrente	Zona de ponte térmica plana
Reboco tradicional, 2 cm	Reboco tradicional, 2 cm
Pano exterior de alvenaria de tijolo furado de 15 cm	Pilar ou viga em betão armado, 30 cm
Caixa-de-ar, 2 cm	Placa de XPS, 3cm
Placa de XPS, 4cm	Reboco tradicional, 1cm
Pano interior de alvenaria de tijolo furado de 11 cm	
Reboco tradicional, 2cm	
$U = 0,47 \text{ W/m}^2\text{°C}$	$U = 0,74 \text{ W/m}^2\text{°C}$

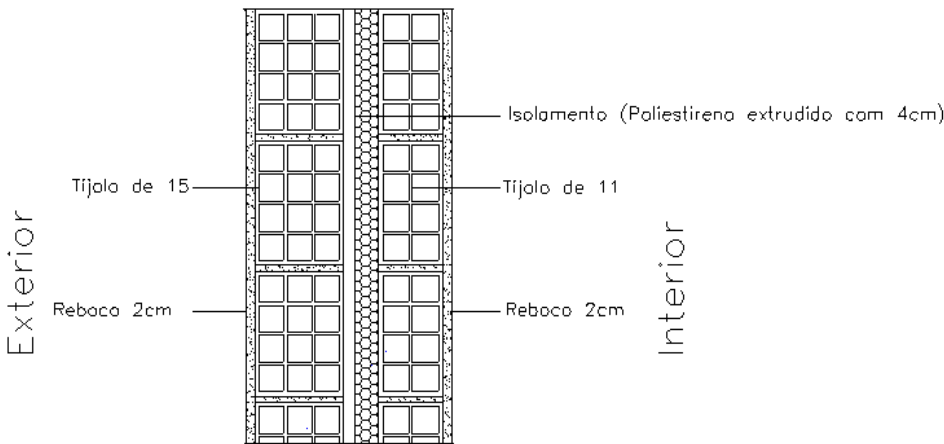


Figura 3.9 – Corte da parede exterior em zona corrente da solução C

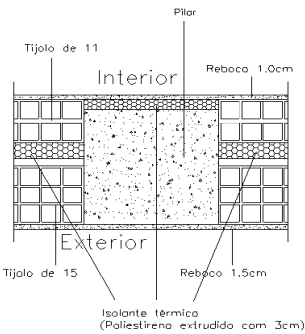


Figura 3.10 - Corte da parede exterior em zona de ponta térmica plana do pilar da solução C

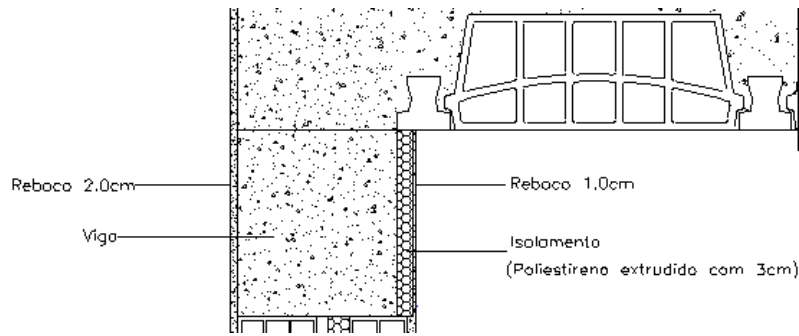


Figura 3.11 – Zona de ponte térmica plana da viga da solução C

3.1.3.2 Cobertura

A cobertura para as soluções A, B e B2 é colocada sobre um desvão, que se considera ao nível da esteira como envolvente interior o que não acontece na solução C, por se conceber a cobertura em contacto com o exterior.

Os tipos de coberturas e os pormenores construtivos são os definidos nos quadros seguintes.

A caracterização das soluções A, B e B2 é dividida em duas partes: uma chamada de esteira, zona considerada para o cálculo de coeficiente de transmissão térmica, e outra de desvão.

Quadro 3.5 – Constituição da cobertura para as soluções A, B, B2 e C

Solução A, B e B2		Solução C
Cobertura	Desvão	Cobertura
Placas de gesso cartonado, 1.3 cm	Vigas estruturais	Revestimento interior em estuque
Caixa-de-ar, 21 cm	Caixa-de-ar, 30 cm	Estrutura resistente, laje de vigotas aligeiradas
Painel OSB3, 1.2 cm	Compacto fenólico, abet laminati	Camada de forma, betão leve
Placas de lã de rocha, 4 cm	Vigas de pendente	Isolante térmico EPS, 4 cm
	Painel isotérmico (A), placas compostas (B e B2)	Sistema de impermeabilização
		Revestimento exterior da cobertura
$U = 0,66 \text{ W/m}^2\text{°C}$		$U = 0,56 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Na Figura 3.12 é possível observar-se, em corte, a cobertura das soluções A, B e B2. Realça-se, ainda, que no caso das soluções B e B2 se optou por um painel de chapas compostas (painel isotérmico).



Figura 3.12 - Corte da cobertura, soluções A, B e B2

Na solução C, a cobertura plana apresenta a constituição exposta na Figura 3.13.

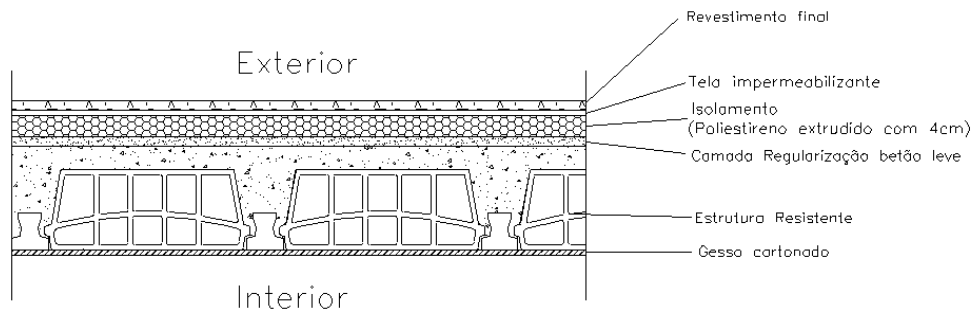


Figura 3.13 – Corte da cobertura, solução C

3.1.3.3 Pavimento

A laje de pavimento contacta com dois ambientes distintos: uma zona que se situa sobre um desvão, e outra com o ambiente exterior.

As soluções A, B e B2 têm a mesma estrutura resistente para a laje de piso. Tal como as paredes exteriores a laje de piso é constituída por uma zona corrente e uma zona de ponte térmica plana. Para a solução C, foi escolhida uma laje de betão armado aligeirada com abobadilhas cerâmicas para a estrutura resistente. No Quadro 3.6 definem-se as soluções utilizadas.

Quadro 3.6 – Constituição da laje de piso das soluções A, B/B2 e C

Solução A, B e B2		Solução C
Zona corrente	Zona de Ponte térmica plana	Laje de piso
Painel OSB3, 1,2 cm	Painel OSB3, 1,2 cm	Revestimento exterior, reboco
Placas de lã de rocha, 6 cm	Vigas estruturais de madeira	Estrutura resistente, laje aligeirada
Caixa-de-ar, 24 cm	Caixa-de-ar, 20 cm	Isolante térmico XPS, 4 cm
Painel de OSB3, 1,2cm	Painel OSB3, 1,2 cm	Camada de desolidarização
Pavimento flutuante, 1,3 cm	Pavimento flutuante, 1,3 cm	Betonilha de regularização
		Pavimento flutuante
	$U = 0,45 \text{ W/m}^2\text{°C}$	$U = 0,52 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Na Figura 3.14 apresenta-se o pormenor da laje de pavimento das soluções A, B e B2.

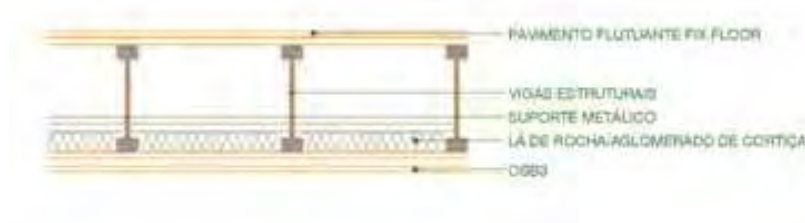


Figura 3.14 – Corte da laje de pavimento, soluções A, B e B2

Na Figura 3.15 encontra-se o pormenor da laje de pavimento da solução C.

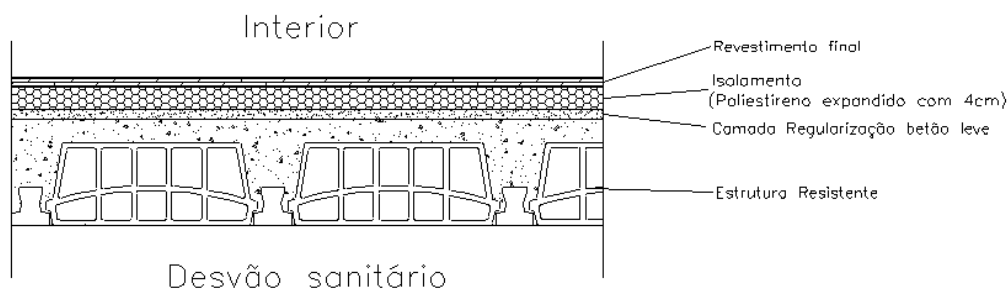


Figura 3.15 – Corte da laje de pavimento, solução C

3.1.4 Envolvente translúcida

A envolvente translúcida é constituída por vãos envidraçados, que permitem a passagem de luz e calor para o ambiente interior e ganhos térmicos na estação de aquecimento.

3.1.4.1 Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados são do mesmo tipo para as soluções A e C: duplos com caixa-de-ar, 5+12+6 (mm) e caixilharia em alumínio sem corte térmico à cor cinza. Para as soluções B e B2 adoptou-se caixilharia em madeira e uma solução com envidraçados 5+16+6 (mm).

As protecções dos envidraçados para a solução A e C são persianas plásticas (cor clara). Para a solução B e B2, são em estores venezianos exteriores (cor clara), à excepção do envidraçado virado a Este que é protegido por uma portada exterior de madeira.

3.1.5 Parâmetros dos vãos envidraçados

Os factores dos vãos envidraçados mais relevantes são:

- factor solar (g_{\perp});
- factor de obstrução (F_s);
- fracção envidraçada (F_g);
- factor de correcção de selectividade angular dos envidraçados (F_w);
- factor de utilização dos ganhos térmicos (η).

3.1.5.1 Factor solar

Os envidraçados, segundo o regulamento, têm que satisfazer os requisitos mínimos ao nível do factor solar, g_{\perp} , do vão (vidro mais protecção 100% activada).

Na estação de aquecimento o valor de $g_{\perp 100\%}$ tem em consideração a utilização desejável dos dispositivos móveis de protecção (persianas, portadas...). Pressupõe-se que estes dispositivos estão geralmente abertos de forma a proporcionar ganhos solares.

Na estação de arrefecimento o raciocínio é inverso, supondo-se que as protecções estão activadas a 100%, de forma a ter menos ganhos energéticos.

Estes parâmetros são os previstos pela tabela IV.4 e quadro V.4 do regulamento.

Para o cálculo de g_{\perp} de Verão, aplica-se a regra dos 70% do vão envidraçado com a protecção solar 100% activada e 30% do vidro sem qualquer protecção. Assim:

$$g_{\perp \text{verão}} = 0.30 * g_{\perp v} + 0.7 * g_{\perp 100\%} \quad (\text{Eq. 1})$$

Este tipo de cálculo tem por base o raciocínio de que no Inverno os ganhos solares têm um papel activo no aquecimento da habitação. No Verão, o papel dos envidraçados é inverso, pois os ganhos térmicos fazem aumentar as necessidades de arrefecimento da habitação.

O factor solar é limitado pelos valores do Quadro IX.2 do regulamento [1]. Estes limites dependem da inércia térmica do edifício e da zona climática relativa ao Verão (V_1 , V_2 e V_3).

O tipo de vãos envidraçados adoptado é 4 a 8 mm + 5 mm, incolores, segundo a tabela IV.4 do RCCTE [1], tem um factor solar do vidro de:

- $g_{\perp v} = 0,75$;

Na estação de aquecimento (Inverno), o regulamento [1] prevê que para os vidros duplos, os valores máximos de $g_{\perp v}$ é de 0,63 (considerando a existência de cortinas

muito transparentes). Logo para o cálculo, o factor solar de Inverno toma o valor de $g_{\perp Inv} = 0,63$. Para a estação de arrefecimento de Verão os resultados obtidos constam do Quadro 3.7:

Quadro 3.7 – Factor solar dos vãos envidraçados das soluções A, B, B2 e C

Envidraçado	Solução A e C			Solução B e B2		
	$g_{\perp Inv}$	$g_{\perp 100\%}$	$g_{\perp verão}$	$g_{\perp v}$	$g_{\perp 100\%}$	g_{\perp}
E1 – Norte	0,63	0,04	0,22	0,63	0,08	0,25
E2 – Norte	0,63	0,04	0,22	0,63	0,08	0,25
E3 – Norte	0,63	0,04	0,22	0,63	0,08	0,25
E4 – Oeste	0,63	0,04	0,22	0,63	0,08	0,25
E5 – Oeste	0,63	0,04	0,22	0,63	0,08	0,25
E6 – Sul	0,63	0,04	0,22	0,63	0,08	0,25
E7 – Sul	0,63	0,04	0,22	0,63	0,08	0,25
E8 – Sul	0,63	0,04	0,22	0,63	0,08	0,25
E9 – Este	0,63	0,03	0,21	0,63	0,03	0,25

Segundo o Quadro IX.2 do RCCTE [1], para inércia fraca, zona climática V1, o valor de $g_{\perp 100\%}$ tem que ser inferior a 0,15, verificando-se portanto que todos os valores obtidos verifiquem o requisito mínimo regulamentar.

3.1.5.2 Factor de obstrução

A existência de obstáculos provocam uma redução da radiação incidente no vão envidraçado devido ao sombreamento permanente.

Segundo o regulamento [1] as obstruções podem ser:

- obstruções exteriores ao edifício, outros edifícios, orografia, vegetação...;
- obstruções criadas por elementos do edifício, outros edifícios, outros corpos do mesmo edifício, palas, varandas, elementos de enquadramento dos vãos externos à caixilharia.

O factor de obstrução pode ser calculado pela equação seguinte:

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

- F_h é o factor de sombreamento do horizonte por obstruções longínquas exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;
- F_o é o factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado (palas, varandas);
- F_f é o factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado (palas verticais, outros corpos ou partes do mesmo edifício) [1].

Para encontrar os valores de F_h , F_o e F_f é necessário medir os valores dos ângulos que os obstáculos considerados fazem sobre o envidraçado. Nas figuras 3.16, 3.17 e 3.18 estão representados os ângulos devidos aos obstáculos existentes no próprio edifício.

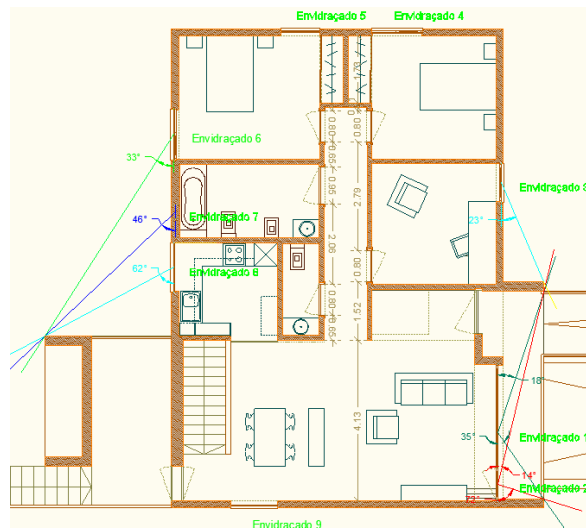


Figura 3.16 – Valor dos ângulos das obstruções verticais dos envidraçados

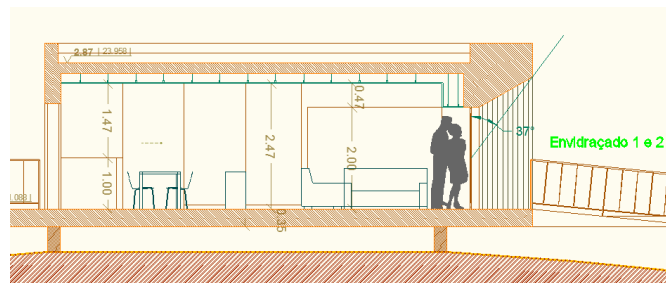


Figura 3.17 - Valor dos ângulos de obstruções horizontais dos envidraçados

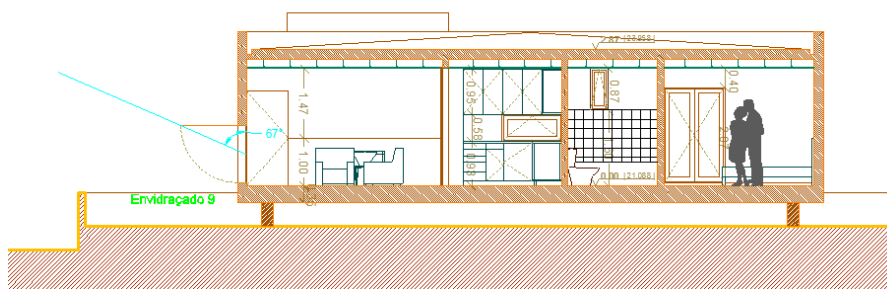


Figura 3.18 – Valor dos ângulos de obstruções horizontais dos envidraçados

Encontrado o valor dos ângulos provocados pelas obstruções, consulta-se a Tabela IV.5, IV.6 e IV.7, para a situação de Inverno, e os Quadros V.1 e V.2, para a situação de Verão, do RCCTE [1]. Segundo o regulamento para a estação de aquecimento, caso não existam palas, situação verificada nos envidraçados EN1, EN2, EO4 e EO5, o produto $F_o \times F_f$ é 0,9.

Para a solução B e B2, adoptaram-se estores venezianos que ao encolher permite que se forme uma pala de sombreamento como evidencia a Figura 3.19.



Figura 3.19 – Estores venezianos [36]

Os estores, na situação de encolhido, deixam 2/3 do vão do envidraçado livre, criando uma pala com cerca de 50 cm. Os valores dos ângulos de obstrução encontram-se no anexo 2.

No Quadro 3.8 encontram-se os valores medidos e calculados para todos os vãos envidraçados.

Quadro 3.8 – Valores dos factores de obstrução

Envidraçado	SOLUÇÃO A e C		Solução B e B2	
	$F_s = F_h.F_o.F_f$		$F_s = F_h.F_o.F_f$	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
E1 - Norte	0,90	0,97	0,90	0,95
E2 – Norte	0,90	0,97	0,90	0,95
E3 - Norte	0,90	1,00	0,90	0,95
E4 – Oeste	0,90	1,00	0,90	0,59
E5 – Oeste	0,90	1,00	0,90	0,57
E6 – Sul	0,92	0,90	0,92	0,48
E7 – Sul	0,88	0,87	0,88	0,48
E8 – Sul	0,83	0,84	0,83	0,53
E9 - Este	0,64	0,55	0,90	0,64

3.1.5.3 Fracção envidraçada

Os vãos envidraçados são constituídos por uma caixilharia e por uma superfície de vidro. A caixilharia por provocar uma redução da energia absorvida, o RCCTE [1], aplica o factor F_g , fracção envidraçada, consoante a caixilharia ter ou não ter quadricula.

Através do Quadro IV.5, do RCCTE (1), os valores de F_g , usando envidraçados com caixilho sem quadricula, para as soluções, são:

- Solução A e C: $F_g = 0,70$ (janelas de alumínio ou aço, caixilho sem quadricula);
- Solução B e B2: $F_g = 0,65$ (janelas de madeira, caixilho sem quadricula).

3.1.5.4 Factor de correcção de selectividade angular dos envidraçados

O factor de correcção de selectividade angular dos envidraçados (F_w), traduz a redução dos ganhos solares causada pela diferente incidência da radiação solar directa nos envidraçados, variando de orientação para orientação.

Para a estação de aquecimento, o valor de F_w é de 0,90 para vidros correntes simples e duplos.

Para a estação de arrefecimento deve ser consultado o Quadro V.3, variando o valor de F_w , consoante a orientação geográfica do envidraçado e o tipo de solução envidraçada.

No caso de estudo tem-se:

- Norte: $F_w = 0,80$;
- Sul: $F_w = 0,75$;
- Este e Oeste: $F_w = 0,85$.

3.1.5.5 Factor de utilização dos ganhos térmicos

Em função da inércia térmica e da relação entre ganhos totais brutos (γ) (internos e solares) e as perdas térmicas do edifício, é calculado o factor de utilização de ganhos térmicos (η).

Dado que nem todos os ganhos térmicos brutos se traduzem em aquecimento útil do edifício, o RCCTE [1] estabelece que os ganhos térmicos brutos são convertidos em ganhos térmicos brutos através do factor de utilização dos ganhos térmicos, $Q_{gu} = \eta \cdot Q_g$, sendo Q_{gu} , ganhos térmicos úteis e Q_g , ganhos térmicos brutos.

O valor de η é o seguinte:

- Solução A, $\eta = 0,884$;
- Solução B, $\eta = 0,856$;
- Solução B2, $\eta = 0,944$;
- Solução C, $\eta = 0,995$.

3.1.6 Espaços não úteis

Os espaços não úteis (espaços do edifício não aquecidos) referentes a esta moradia resumem-se ao desvão sanitário que está sob grande parte do pavimento e ao desvão existente acima do tecto falso, apenas considerado para as situações A, B e B2.

Estes espaços são definidos pelo coeficiente de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos, τ .

Este coeficiente é calculado através da Tabela IV.I do RCCTE [1]. Para isso encontra-se o valor da relação entre A_i (área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil) e A_u (área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior), o valor de τ , depende também do tipo de utilização do espaço não útil e do respectivo tipo de ventilação.

O valor de τ , varia entre 0 e 1, sendo que um elemento com um coeficiente superior a 0,7, deverá, segundo o RCCTE [1], respeitar os requisitos impostos aos elementos de

envolvente exterior. Pode-se dizer que quanto mais próximo de 1 é τ , mais o espaço interior se assemelha com o exterior.

No Quadro 3.9, de acordo com a Tabela IV.1 do RCCTE [1] tem-se para os dois desvãos os valores de τ .

Quadro 3.9 – Valor do coeficiente de redução de perdas térmicas para os locais não aquecidos, τ

Espaço	A_i (m²)	A_u (m²)	A_i / A_u	τ
Desvão sanitário	81.32	18.35	4.43	0.6
Desvão sob cobertura	97.40	95.79	1.02	0.6

O desvão sanitário foi considerado não ventilado e o desvão sob a cobertura fracamente ventilado.

3.1.7 Pontes térmicas

Ponte térmica é a zona da envolvente em que a resistência térmica e o consequente coeficiente de transmissão térmica (U) é diferente do resto da envolvente (zona corrente), o que faz com que as perdas térmicas nestas zonas sejam mais elevadas.

As pontes térmicas são originadas pelos seguintes factores:

- existência de elementos estruturais (vigas, pilares, lajes);
- ligações de elementos, tais como, paredes e pavimentos, paredes e tectos;
- zonas em que o isolamento térmico é interrompido;
- existência de zonas com diferentes materiais nas envolventes;
- alteração das características dos elementos construtivos;
- ligações entre diferentes elementos de construção.

As consequências da existência de pontes térmicas são:

- agravamento das condensações superficiais;
- desagregação dos elementos de revestimento;
- fissuras originadas pelas diferenças de temperatura superficiais, nas zonas de juntas de materiais diferentes;
- maior desenvolvimento de fungos e bolores com a diminuição da qualidade do ar interior;

- aumento das perdas térmicas.

As pontes térmicas podem ser de dois tipos, lineares ou planas.

As pontes térmicas lineares caracterizam-se por uma ligação entre dois ou mais elementos do edifício: ligação da fachada com pavimentos térreos; ligação da fachada com varanda; ligação entre duas paredes verticais...

As pontes térmicas planas caracterizam-se por zonas opacas heterogéneas localizadas nas zonas correntes: pilares, vigas e caixas de estore...

Nas soluções A, B e B2 as pontes térmicas lineares consideradas, são as seguintes:

- ligação de fachadas com pavimentos sobre locais não aquecidos/exteriores;
- ligação de fachada com varanda;
- ligação de duas paredes verticais;
- ligação de fachada com caixa de estore;
- ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril (apenas na solução A);
- fachada com soleira.

As pontes térmicas planas consideradas são:

- áreas de prumos verticais em contacto com a parede;
- áreas de vigas estruturais constituintes do pavimento.

Nas figuras seguintes estão representadas as pontes térmicas acima descritas.

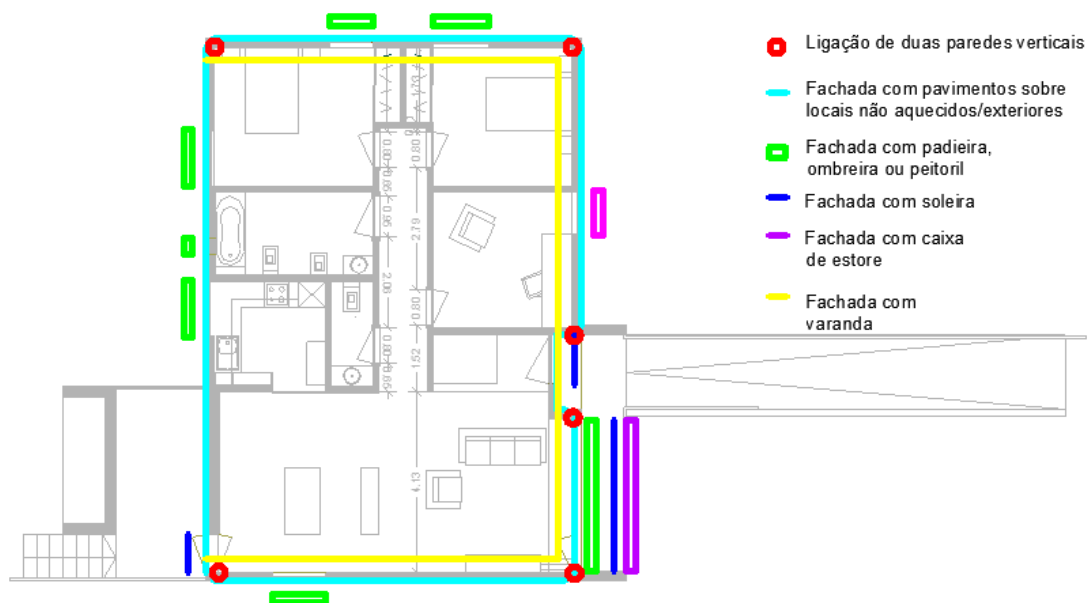


Figura 3.20 – Pontes térmicas lineares das soluções A, B e B2



Figura 3.21 – Pontes térmicas planas devido aos prumos da solução A, B e B2

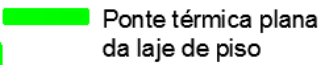


Figura 3.22 – Planta estrutural da laje de piso das soluções A, B e B2

Na solução C as pontes térmicas lineares consideradas são:

- ligação de fachadas com pavimentos sobre locais não aquecidos/exteriores;
- ligação de fachada com varanda;
- ligação de duas paredes verticais;

- ligação de fachada com caixa de estore;
- ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril;
- ligação de fachada com soleira.

As pontes térmicas planas consideradas são:

- áreas de zona de pilar;
- áreas de zona de talão da viga.

Nas Figura 3.23 estão representadas as pontes térmicas para a solução C.

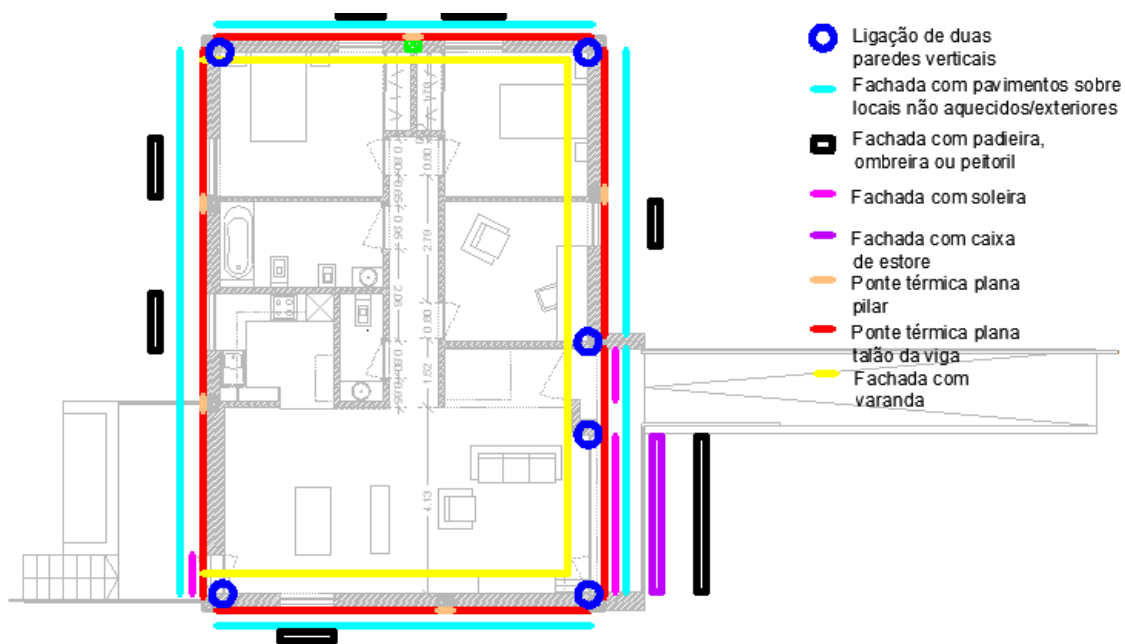


Figura 3.23 - Pontes térmicas da solução C

As pontes térmicas lineares foram calculadas através do método previsto pelo RCCTE [1].

Segundo este método as perdas de calor lineares unitárias (por grau centigrado de diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior) através das pontes térmicas (P_{tl}) são calculadas pela seguinte expressão:

$$L_{pt} = \sum \Psi_j \cdot B_j \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

- Ψ_j , é o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica j (em $\text{W/m}^\circ\text{C}$);
- B_j , é o desenvolvimento linear (comprimento) da ponte térmica j , medido pelo interior (em m) [1].

Para as várias pontes térmicas lineares existentes obteve-se os resultados que constam no Quadro 3.10.

Quadro 3.10 – Valores das pontes térmicas para as várias soluções

Ponte térmica linear	Soluções A, B e B2	Solução C
	$\Psi_j \times Bj$ (W/m°C)	$\Psi_j \times Bj$ (W/m°C)
Fachadas com pavimentos sobre locais não aquecidos/exteriores	28.11	28.11
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	-	31.37
Fachada com varanda	13.73	9,61
Duas paredes verticais	2.96	1.13
Fachada com caixa de estore	2.03	2.03
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	4.79/0,00	4.79
Fachada com soleira	1.08	1.08

As pontes térmicas planas são contabilizadas através do cálculo do coeficiente de transmissão térmica superficial (U), objecto de análise no próximo ponto.

3.1.8 Coeficientes de transmissão térmica superficiais (U)

Os processos de transmissão de calor nos elementos de construção envolvem três tipos de temperatura: temperatura de ambiente exterior, interior e dos elementos de construção. Na Figura 3.24 representam-se os tipos de temperatura existentes no processo de transmissão de calor. Entendendo-se por “ t_{int} ” - temperatura interior, “ t_{pi} ” - temperatura de paramento interior - “ t_{pe} ”, temperatura de paramento exterior - “ t_{ext} ”, temperatura exterior.

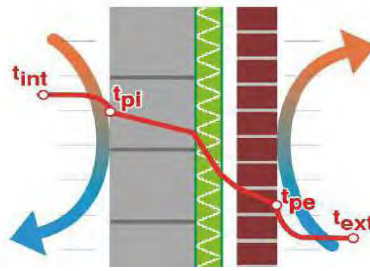


Figura 3.24 – Temperaturas do processo de transmissão de calor [37]

O valor das temperaturas de ambiente exterior e interior encontram-se através de medições *in situ*. A temperatura dos elementos de construção é mais difícil de se encontrar, segundo o regulamento [1], esta temperatura calcula-se através do coeficiente de transmissão térmica (U).

Entende-se por coeficiente de transmissão térmica superficial, a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa, e é calculado pela expressão geral:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum j R_j + R_{se}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

- R_j – resistência da camada térmica j ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$);
- R_{si} , R_{se} – resistências térmicas superficiais interior e exterior, respectivamente [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$];

O valor da resistência das camadas térmicas calcula-se pela seguinte fórmula:

$$R = e/\lambda \quad (\text{Eq. 5})$$

Sendo:

- e – espessura da camada (m);
- λ – condutibilidade térmica do material constituinte da camada ($\text{W}/\text{m } ^\circ\text{C}$).

Os valores das resistências térmicas superficiais obtêm-se através do quadro VII.I do RCCTE [1], valores que variam conforme o fluxo de calor, se horizontal, vertical (ascendente ou descendente). Nos espaços de ar não ventilados, como por exemplo caixas-de-ar das paredes duplas, os valores obtêm-se através do quadro VII.2 do RCCTE [1] [38].

Para o pavimento o cálculo de U foi encontrado através de um método distinto do anterior, usando a seguinte fórmula:

$$U = \frac{(U_{zcorrente} * A_{zcorrente}) + (U_{zptp} * A_{zptp})}{A_{zcorrente} + A_{zptp}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Sendo:

- $U_{zcorrente}$, valor do coeficiente de transmissão térmica da zona corrente;
- $A_{zcorrente}$, valor da área de zona corrente do piso;
- U_{zptp} , valor do coeficiente de transmissão térmica da zona de ponte térmica plana do piso;
- A_{zptp} , Área da zona de ponte térmica plana do piso.

O regulamento impõe duas restrições ao valor de U . Uma para zonas correntes dos pavimentos, paredes e coberturas, $U \leq U_{\text{máximo}}$, este valor de “ $U_{\text{máximo}}$ ” encontra-se no anexo IX, quadro IX.1 do RCCTE [1], variando segundo a zona climática para Inverno (I_1 , I_2 , I_3 e RA^1) e se o elemento é exterior ou interior em zona corrente.

A outra restrição refere-se às zonas de ponte térmica plana, que para além de ter que verificar a restrição anterior tem que verificar, $U_{ptp} \leq 2U_{\text{zona corrente}}$.

O valor de U para os elementos considerados, são os que constam no Quadro 3.11:

Quadro 3.11 – Valor dos coeficientes de transmissão térmica superficial, U

Elemento	Solução A $U \text{ (W.m}^2\text{/}^\circ\text{C)}$	Solução B e B2 $U \text{ (W.m}^2\text{/}^\circ\text{C)}$	Solução C $U \text{ (W.m}^2\text{/}^\circ\text{C)}$
Paredes exteriores	0,51	0,41	0,47
Zona de ponte térmica da parede exterior (pilar ou prumo vertical)	0,92/0,82	0,55/0,72	0,74
Zona de ponte térmica do talão da viga			0,74
Zona de ponte térmica da laje de piso	0,87	0,87	
Pavimento em contacto com o exterior	0,56	0,56	0,56
Pavimento sobre espaço não útil	0,57	0,57	0,52
Cobertura	0,66	0,66	0,56
Envidraçados EN1, EN 2, EN 3, EO4, EO 5, ES 6, ES7, ES8 e EE9	2,91	2,5	2,91
Portas	1,99	1,99	1,99

¹ Regiões autónomas

No anexo II.6 encontram-se os suportes do cálculo efectuado para todos os coeficientes de transmissão térmica superficiais.

Os vãos envidraçados para as soluções A e C têm valores de coeficiente de transmissão térmica, calculados através do programa *Windows knowledge base 5.2*, ficheiros que se encontram no anexo II.6. Para as soluções B e B2 os valores de U dos envidraçados são encontrados através do ITE 50 [33].

No Quadro 3.12 indicam-se os valores do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados das várias soluções.

Quadro 3.12 – Valor dos coeficientes de transmissão térmica superficial, U para os envidraçados das soluções

Envidraçados	Solução A e C, valor de U	Solução B e B2, Valor de U
	($\text{W.m}^2/^{\circ}\text{C}$)	($\text{W.m}^2/^{\circ}\text{C}$)
E1 – Norte	2,91	2,50
E2 – Norte	2,91	2,50
E3 – Norte	2,91	2,50
E4 – Oeste	2,91	2,50
E5 – Oeste	2,91	2,50
E6 – Sul	2,91	2,50
E7 – Sul	2,91	2,50
E8 – Sul	2,91	2,50
E9 – Este	2,91	2,50

3.1.9 Taxas de renovação de ar

A circulação de ar, no edifício, faz-se através dos compartimentos, o que origina taxas de perdas que dependem: do tipo de ventilação usada, mecânica ou natural; da classe de caixilharia; da região onde se insere; da rugosidade da zona circundante; da altura das fachadas acima do solo.

Se o edifício respeitar as disposições da Norma EN NP 1037 [39], adopta-se uma taxa de renovação horária (R_{ph}) de 0,6 ren/hora.

Caso o edifício não se encontre de acordo com a Norma EN NP 1037 [39], é necessário determinar a classe de exposição à acção do vento e definir a permeabilidade ao ar da caixilharia, a efectuar através do Anexo IV, Quadro IV.2, do RCCTE [1], dependendo da:

- região em que o edifício se encontra;
- rugosidade da zona circundante;
- altura do edifício acima do solo.

O território nacional está dividido em duas regiões: A e B. A região A é constituída por todo o território nacional, excepto locais pertencentes à região B. A região B abrange as regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, as localidades situadas numa faixa de cinco quilómetros de largura junto à costa ou com altitude superior a seiscentos metros.

A rugosidade é dividida em três graus, sendo:

- rugosidade I, edifícios situados no interior de uma zona urbana;
- rugosidade II, edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural;
- rugosidade III, edifícios situados em zonas muito expostas.

A altura do edifício acima do solo divide-se em quatro níveis:

- menor que 10m;
- de 10m a 18m;
- de 18m a 28m;
- superior a 28m.

A versão original, da habitação em estudo, não possui sistema de ventilação natural nem mecânico, possuindo apenas o exaustor de cozinha, o que implica que se encontre o valor da taxa de renovação de ar, de forma a serem contabilizadas as perdas associadas.

Para a moradia em estudo, considerou-se:

- região A;
- rugosidade tipo II;
- altura acima do solo menor que 10 m.

Através do Quadro IV.2 do RCCTE [1], obtém-se uma classe de exposição dois.

Consultando o Quadro IV.1 do RCCTE [1], não existindo dispositivos de admissão de ar nas fachadas, sendo da classe 1 de permeabilidade ao ar as caixilharias e sem caixa de estore obtém-se o valor de 0,99 ren/hora, valor utilizado nas soluções A e C.

Para as soluções B e B2 concebeu-se um sistema de ventilação natural de acordo com a Norma EN NP 1037-1 [39] pelo que se, obtém o valor de 0,6 ren/hora.

3.1.10 Ventilação natural

A ventilação natural é a renovação de ar efectuada através das aberturas existentes nas fachadas ou caixilharias dos vãos envidraçados sem que se utilizem meios mecânicos [40].

A utilização corrente de habitações inclui actividades de que resultam substâncias cuja remoção é necessária para a existência de um ambiente adequado à permanência dos ocupantes [40].

Este sistema é um meio eficaz de remoção das substâncias existentes no ambiente que o degradam. Para existir ventilação, é necessário haver uma abertura de entrada de ar, outra para a saída instalando uma diferença de pressão. As aberturas de entrada e saída devem encontrar-se no mesmo compartimento.

A ventilação natural resulta da diferença de pressão causada pelos efeitos do vento sobre o edifício e pelas diferenças de temperatura entre o ar interior e o ar exterior, sendo um meio mais eficaz e barato para garantir a qualidade e salubridade do ar interior.

A importância da ventilação numa habitação reflecte-se no desaparecimento de humidade, do ar contaminado, minimizando a ocorrência de condensações, e o crescimento de fungos no interior da habitação diminui.

A ventilação deve ser controlada de forma a não gerar correntes de ar fortes e consequentemente perdas energéticas excessivas na estação de aquecimento.

Na Figura 3.25 apresentam-se diferentes sistemas de ventilação.

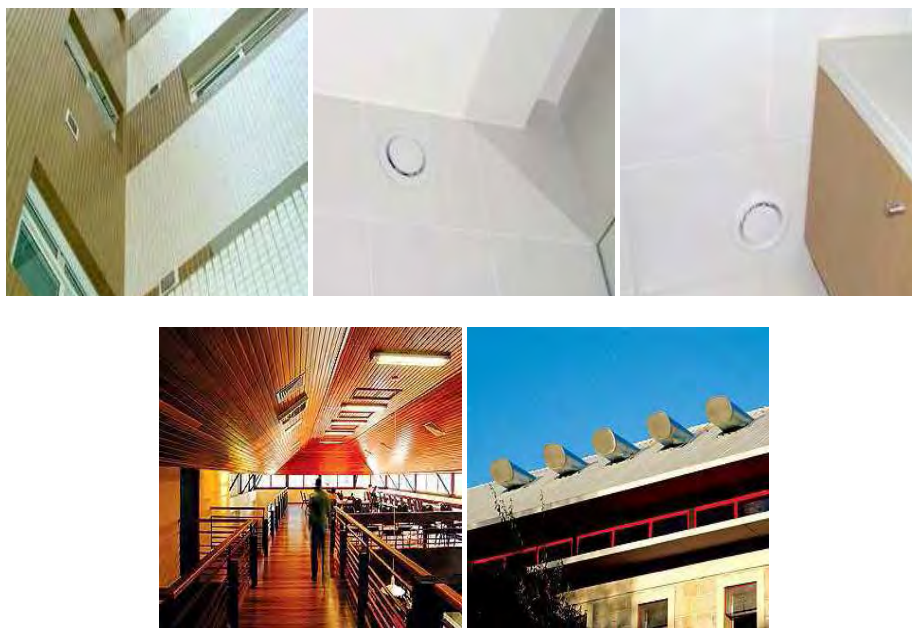


Figura 3.25 – Exemplos de entradas e saídas de ar para a ventilação [35] [15] [41]

O projecto de ventilação desenvolvido para a habitação em estudo fez-se com base na Norma EN NP 1037-1 [39], norma que, tem por objectivo definir as regras a que devem obedecer os sistemas de ventilação natural dos edifícios de habitação, de modo a que os mesmos cumpram a sua função nos seus múltiplos aspectos, como seja o funcionamento dos aparelhos a gás e a qualidade do ar interior [39], exigindo para:

- compartimentos principais, um número de renovações = 1 ren/hora;
- compartimentos de serviço, um número de renovações = 4 ren/hora;
- caudal mínimo a evacuar de 45 m³/h nas I.S. com duche ou banheira, 30 m³/h em I.S. sem duche nem banheira e 60 m³/h nas cozinhas;
- nos locais com aparelhos a gás instalados os caudais a evacuar são:
 - 5.0 x Q_n m³/h no caso de caldeiras;
 - 4.3 x Q_n m³/h para os restantes aparelhos a gás.
- o caudal-tipo de dimensionamento é o maior dos valores de caudal a admitir ou extrair no sector de ventilação.

Um edifício de habitação, segundo esta norma, divide-se em compartimentos de serviço e principais. Sendo, o caso em estudo, constituído por dois quartos, uma sala, um escritório, uma instalação sanitária sem banheira, uma instalação sanitária com banheira

e uma cozinha. A cozinha e as instalações sanitárias são considerados compartimentos de serviço e os restantes compartimentos principais.

O projecto de ventilação natural tem em conta os seguintes parâmetros:

- cálculo dos caudais nominais;
- permeabilidade ao ar das caixilharias exteriores;
- dimensionamento das condutas de evacuação e ligação;
- condutas de ligação de aparelhos tipo B;
- dimensionamento das aberturas de admissão e de evacuação de ar;
- dimensionamento das passagens de ar interior;
- especificação dos equipamentos.

3.1.10.1 Cálculos dos caudais nominais

Os caudais nominais ou caudais-tipo dos compartimentos, são calculados tendo em consideração o volume do compartimento a ventilar e as exigências mínimas de renovação de ar.

A caldeira mural considerada para a moradia, situa-se na cozinha, tem a potência nominal de 24 kW, sendo, o caudal a evacuar para este compartimento de 120 m³/h.

Os valores dos caudais a evacuar para cada um dos compartimentos são os indicados no Quadro 3.13.

Quadro 3.13 – Caudais-tipo de admissão e evacuação de ar

	Designação	Admissão de ar (m ³ /h)	Evacuação de ar (m ³ /h)
Compartimentos principais	1 – Sala	90	-
	2 – Escritório	60	-
	3 – Quarto	60	-
	4 – Quarto	30	-
Compartimentos de serviço	5 – I.S.	-	30
	6 – I.S. com banho	-	90
	7 – Cozinha	-	120
		$\Sigma = 240 \text{ (m}^3\text{/h)}$	$\Sigma = 240 \text{ (m}^3\text{/h)}$

3.1.10.2 Permeabilidade ao ar das caixilharias exteriores

A permeabilidade ao ar das janelas e portas deve ter em consideração a exposição ao vento.

Analisando o Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes [41], calculou-se para as soluções B e B2:

- Solução B e B2:
 - zonamento do território, zona A;
 - rugosidade aerodinâmica do solo, tipo II;
 - janelas de altura acima do solo inferior a 10 m.

De acordo com a Norma EN NP 1037 – 1 [39], Quadro 3 e 4, obtêm-se as seguintes classes:

- exposição ao vento, Exposição 2;
- permeabilidade ao ar das janelas e portas, A2.

Estas classes são úteis para a definição de perda de carga das aberturas exteriores.

É ainda indicado que as portas exteriores de patamar devem ter uma permeabilidade ao ar inferior ou igual a $12 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$ para um diferencial de 100Pa.

3.1.10.3 Dimensionamento das condutas de evacuação e ligação

As condutas de evacuação são circulares (individuais), em aço galvanizado e fabricadas de acordo com as normas S.M.A.C.N.A².

A conduta de ligação da caldeira mural será circular, semi-rígida, com as características indicadas no Quadro 3.14.

Quadro 3.14 – Área útil das condutas individuais

Caudal (m ³ /h)	45	60	75	95	105	215	245
Área útil (cm ²) circular	100	120	140	167	180	300	315

² Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association

3.1.10.4 Condutas de ligação de aparelhos tipo B

No Quadro 3.15 estão descritas as características das condutas de ligação a aparelhos do tipo B. Na moradia em estudo a caldeira é um aparelho a gás do tipo B.

Quadro 3.15– Condutas de ligação de aparelhos tipo B

Classificação do tipo de aparelho	1 Aparelho ligado – tipo I a IV
Configuração da conduta de ligação	Sem desvio – tipo I
Resistência térmica da conduta de evacuação ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)	$r \geq 0.22$
Altura da conduta de evacuação (m)	$1.6 \leq H \leq 4$
Potência do aparelho (KW)	24
Diâmetro da conduta de ligação (mm)	153
Diâmetro da conduta de fumos (mm)	180

3.1.10.5 Dimensionamento das aberturas de admissão e de evacuação de ar

A circulação de ar efectua-se através de aberturas de admissão de ar instaladas nos caixilhos dos envidraçados, como se pode ver na Figura 3.26. As entradas são auto-reguláveis, acústicas, de forma a proporcionarem um elevado conforto acústico e eólico.



Figura 3.26 – Exemplo de entrada de ar através das caixilharias [14]

Para a evacuação de ar são utilizadas grelhas circulares ou quadradas para aplicação mural ou em tecto, estando servidas por condutas individuais. As perdas de carga são consideradas na ordem de 3Pa. Estas grelhas são usadas na ventilação das instalações sanitárias e na cozinha. A evacuação faz-se por exaustor.

Segundo a Norma EN NP 1037 – 1 [39], os exaustores de uso corrente são incompatíveis com a estratégia de ventilação prevista na norma. Neste caso, considerando que o exaustor se liga por curtos períodos de tempo ao longo do dia, considera-se não haver constrangimentos ao normal funcionamento do sistema de ventilação natural.

A área das aberturas para admissão e evacuação de ar constam no Quadro 3.16:

Quadro 3.16 – Áreas das aberturas de admissão e evacuação de ar

Compartimento	Aberturas de admissão (cm²)	Aberturas de evacuação (mm)
1 - Sala	3x30	-
2 – Escritório	2x35	-
3 – Quarto	2x35	-
4 - Quarto	1x35	-
5 - I.S.	-	Φ 100
6 – I.S. com banheira	-	Φ 205
7 - Cozinha	-	Φ 255

3.1.10.6 Dimensionamento das passagens de ar interior

Não existindo sectores separados de ventilação, as portas interiores dispõem de folgas que proporcionam a passagem de ar interior e terão entre 200 cm² e 250 cm². Caso não seja possível assegurar a área útil através das folgas das portas com o pavimento, a passagem do ar interior é feita através de grelhas de passagem aplicadas na porta ou parede do compartimento.

Quadro 3.17 – Caudal e área das passagens de ar interior

Caudal (m ³ /h)	30 < Q ≤ 90	90 < Q ≤ 120
Área útil (cm ²)	200	250

3.1.10.7 Especificação dos equipamentos

3.1.10.7.1 Entradas de ar e grelhas de extracção e rejeição

As entradas de ar reguláveis, têm módulo definido para depressão de 20 Pa, com atenuação acústica. As fendas das caixilharias, normalizadas, devem ser realizadas na oficina da carpintaria e não na obra.

3.1.10.7.2 Grelhas circulares ou quadradas

Grelhas de saída de ar em extracção com ligação circular, construídas em material plástico com rede anti-mosquito.

3.1.10.7.3 Grelhas de rejeição de ar

Terão alhetas horizontais a 20° espaçadas de 12 mm, equipadas com rede anti-insectos com filamentos de aço galvanizado.

3.1.10.7.4 Ventilador eólico

Evita retornos nas chaminés aquando da ocorrência de ventos desfavoráveis à extracção.

3.1.10.7.5 Exaustores estáticos

O exaustor estático tem por função rejeitar o ar viciado. É um aparelho constituído por um caixilho e alhetas horizontais tipo para chuva, em aço galvanizado com rede interior de protecção anti-pássaro de malha quadrada 12x12mm, Ø1,2mm em aço galvanizado, alhetas de lâminas fixas anti-chuva, inclinadas a 45° e espaçadas de 75mm, para ter uma grande resistência à entrada de água. É, colocado no telhado, fixado por parafusos dentro do chassis com posicionamento destacado do chão em base de betão.

3.1.10.7.6 Conduatas de aço galvanizado

Conduatas de ar do tipo rectangular, de baixa pressão, sendo construídas em chapa de aço galvanizada e fabricadas de acordo com as normas S.M.A.C.N.A³.

³ Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association

A espessura da chapa a utilizar no fabrico nestas condutas de ar será em função da maior dimensão transversal da conduta e não poderá ser inferior aos valores do Quadro 3.18:

Quadro 3.18 – Espessura mínima das chapas das condutas de ar em função do maior lado da conduta

Lado maior da conduta	Calibre / espessura da chapa
Até 300 mm	Nº 24 / 0.6 mm
De 300 a 600 mm	Nº 22 / 0.8 mm
De 600 a 1200 mm	Nº 20 / 1.0 mm
De 1200 a 1800 mm	Nº 18 / 1.2 mm
Superior a 1800 mm	Nº 16 / 1.6 mm

A sua construção deverá ser com costura longitudinal de tipo rebordado (*Pittsburg seam*), sendo as junções transversais feitas por meio de calha deslizante ou aros de cantoneira, função da maior secção transversal da conduta, de acordo com as mesmas normas. As condutas de lado maior ou superior a 300 mm, deverão ser vincadas em “bico de diamante”, aumentando assim a sua resistência à deformação.

Nas condutas em que um dos lados ultrapasse os 600 mm, os troços serão limitados por aros de cantoneiras de ferro, para ligação entre si. Entre os aros sujeitos a aperto serão colocadas juntas de feltro alcatroado ou produto equivalente de forma a tornar as uniões perfeitamente estanques.

Não é permitido ligações nem condutas fechadas por cravação.

Todos os acessórios, uniões, derivações, curvas...serão em chapa de aço galvanizado. O encaixe será pelo interior da conduta, fazendo-se a sua fixação por parafusos para chapa metálica. Todas as ligações deverão ser perfeitamente calafetadas.

As condutas circulares deverão ser de fabrico de série, feitas em máquinas automáticas próprias para o efeito, utilizando fita de aço galvanizado, com execução em espiral.

Todos os acessórios de ligação entre os tubos são em chapa de aço galvanizado. As ligações entre tubos com diferentes diâmetros deverão ser feitos por meio de secções tronco - cónicas convergentes ou divergentes, sendo, neste último caso, o ângulo de abertura admissível máximo de 30°.

3.1.11 Inércia térmica interior

A capacidade de armazenamento de calor de um local é dada pela sua inércia térmica interior, de acordo com o RCCTE [1]: A inércia térmica interior de uma fracção autónoma é função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção.

A massa superficial útil, M_{si} , de cada elemento de construção interveniente na inércia térmica, é função da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e das características das soluções de isolamento térmico e de revestimento superficial.

A inércia térmica pode ser aproveitada para diminuir as necessidades de arrefecimento, devido à retenção dos ganhos de calor e para minimizar as necessidades de aquecimento, devido à libertação dos ganhos de calor em período nocturno.

Os resultados obtidos para as soluções estudadas foram os seguintes:

- solução A, $It = 89,75 \text{ Kg/m}^2$, inércia térmica fraca;
- solução B e B2, $It = 99,70 \text{ Kg/m}^2$, inércia térmica fraca;
- solução C, $It = 753 \text{ Kg/m}^2$, inércia térmica forte.

Todos os cálculos efectuados para quantificar a inércia térmica encontram-se nas folhas no anexo II.11.

3.1.12 Aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS)

O RCCTE [1] obriga a utilização de colectores solares térmicos para aquecimento de água sanitária na base de 1 m^2 de colector por ocupante.

A energia solar térmica caracteriza-se por ser renovável, amiga do ambiente, inesgotável, gratuita, com baixos custos de manutenção, não ter necessidade de redes de transporte, nem emissões de CO_2 .

Basicamente existem dois tipos de sistemas: circulação natural (sistema de termossifão) e forçada.

O sistema de termossifão consiste na tendência que a água quente tem de ficar menos densa que a água fria, fazendo com que a água quente suba para o depósito de água situado acima do colector e forçando a água fria que existe no depósito a ocupar a água quente que subiu na tubagem.

No sistema de circulação forçada, a circulação do fluido é gerida através de circuladores controlados electronicamente. Se a temperatura do fluido no painel solar for superior à temperatura do fluido no tanque (por exemplo 3°C), então a unidade de controlo liga automaticamente o circulador da instalação e activa o permutador de calor do acumulador. O circulador é automaticamente desligado quando a temperatura desce abaixo do definido (neste caso 3°C).

O cálculo da contribuição a nível energético destes sistemas, é feito através do programa SOLTERM do INETI⁴.

No presente caso de estudo, o sistema usado na habitação é de circulação forçada.

Na Figura 3.27 estão representados os componentes dum sistema de circulação forçada.

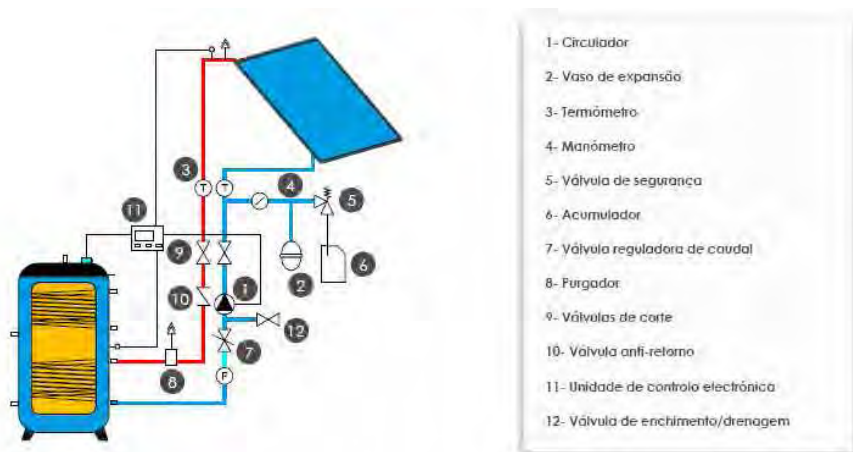


Figura 3.27 – Esquema de sistema de circulação forçada [43]

De forma a ter-se uma percepção dos valores considerados aceitáveis, para o contributo da energia solar, a ADENE⁵ estabeleceu parâmetros associados aos denominados colectores padrão.

No dimensionamento dos painéis solares da solução A e C consideraram-se painéis com as características do colector padrão. Na solução B e B2, adoptaram-se colectores do tipo *Baxi-Roca* de elevado rendimento.

No Quadro 3.19 encontram-se os valores da contribuição energética (E_{solar}), fornecida pelos painéis solares térmicos para as soluções.

⁴ Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

⁵ Agência Para A Energia.

Quadro 3.19 – Valor de E_{solar} das várias soluções

Soluções	E_{solar} (kWh/ano)	A (m^2)
A e C	942	3
B	1780	5,8
B2	1752	5,8

No anexo II.13 encontram-se os respectivos relatórios energéticos.

3.1.13 Verificação dos requisitos segundo o Regulamento das Características de Comportamento Térmico do Edifícios (RCCTE) [1]

Os requisitos impostos pelo RCCTE [1] são:

- limitação das necessidades nominais de aquecimento (Nic);
- limitação das necessidades nominais de arrefecimento (Nvc);
- limitação das necessidades nominais de águas quentes sanitárias (Nac);
- limitação das necessidades nominais de energia primária (Ntc).

3.1.13.1 Limitação das necessidades nominais de aquecimento, Nic

O RCCTE [1] estabelece: necessidades nominais de aquecimento - $Nic \leq$ necessidades nominais máximas de aquecimento – Ni .

As necessidades nominais de aquecimento podem ser definidas como a quantidade de energia útil necessária para se manter uma temperatura de 20 °C num edifício na estação de aquecimento.

O cálculo das necessidades é efectuado através da seguinte expressão:

$$Nic = \frac{Qt + Qv - Qgu}{AP} \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que:

- Qt , perdas de calor por condução através da envolvente do edifício;
- Qv , perdas de calor resultantes da renovação de ar;
- Qgu , ganhos de calor úteis, resultantes da iluminação, dos equipamentos, dos ocupantes e dos ganhos solares através dos envidraçados;
- Ap , área útil de pavimento do edifício.

As necessidades nominais máximas estão associadas à zona climática e ao factor de forma.

O factor de forma (FF) é definido pela relação entre o somatório das áreas da envolvente exterior e interior do edifício ou fracção autónoma e o respectivo volume interior.

Segundo o RCCTE [1], art.º 15º:

- $FF \leq 0,5$; $N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$;
- $0,5 \leq FF \leq 1,0$; $N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) \text{ GD}$;
- $1,0 \leq FF \leq 1,5$; $N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) \text{ GD}] (1,2 - 0,2 FF)$;
- $FF > 1,5$; $N_i = 4,05 + 0,068 \text{ 85 GD}$.

3.1.13.2 Limitação das necessidades nominais de arrefecimento, N_{vc}

O RCCTE [1] estabelece: necessidades nominais de arrefecimento – $N_{vc} \leq$ necessidades nominais de arrefecimento máximas - N_v ;

As necessidades nominais de arrefecimento correspondem à energia útil necessária a retirar para que no interior de um edifício não se exceda a temperatura de 25 °C.

O N_{vc} é calculado através da seguinte fórmula:

$$N_{vc} = \frac{Qg \cdot (1 - \eta)}{Ap} \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que:

- Qg , balanço entre os ganhos e as perdas térmicas do edifício.
- $(1-\eta)$, factor de utilização dos ganhos solares e internos de uma estação de arrefecimento;
- Ap , área útil de pavimento da fracção.

As necessidades nominais de arrefecimento máximas são estabelecidas pelo RCCTE [1], artº 15, de acordo com a zona climática em que se insere a fracção. Sendo os valores os seguintes:

- zona V_1 (Norte); $N_v = 16 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$;
- zona V_1 (Sul); $N_v = 22 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$;
- zona V_2 (Norte); $N_v = 18 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$;
- zona V_2 (Sul); $N_v = 32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$;
- zona V_3 (Norte); $N_v = 26 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$;
- zona V_2 (Norte); $N_v = 32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$;

3.1.13.3 Limitação das necessidades de águas quentes sanitárias

O RCCTE [1] estabelece: necessidades nominais de energia para preparação das AQS – $Nac \leq$ necessidades máximas de energia para a preparação de AQS – Na ;

O RCCTE [1], obriga a uma avaliação das necessidades anuais de energia útil para a preparação de águas quentes sanitárias (Nac), tal como a utilização de colectores solares para o aquecimento de águas sanitárias, o uso de outras formas de energia renovável, captada no edifício, é previsto pelo regulamento. As necessidades de energia para a preparação de águas quentes sanitárias (Nac) é calculada através de:

$$Nac = \frac{\frac{Qa}{\eta a - Esolar - Eren}}{Ap} \quad (\text{Eq. 9})$$

Em que:

- Qa , energia útil dispendida por sistemas convencionais;

$$Qa = \frac{Maqs * 4187 * \delta T * \eta d}{3600000} \quad (\text{Eq. 10})$$

- sendo:
 - $Maqs$ consumo médio diário de referência, para edifícios residenciais dado pela expressão, $Maqs = 40 \times N^\circ$ Ocupantes (Anexo VI do RCCTE [1]);
 - δT o aumento de temperatura necessário para preparar AQS, com o valor de referência de 40°C (Anexo VI do RCCTE [1]);
 - ηd o número anual de dias de consumo de AQS, (Anexo VI, quadro VI.2).
- ηa , eficiência de conversão do sistema de preparação das AQS, valor indicado pelo fabricante ou valores de referência, obtidos através de ensaios normalizados indicados no anexo VI do RCCTE [1];
- $Esolar$, representa a contribuição de colectores solares, valor retirado do programa SOLTERM;
- $Eren$, representa a contribuição de outras formas de energia renovável (solar fotovoltaica, biomassa, eólica, geotérmica...);
- Ap , área útil de pavimento.

As necessidades máximas de energia para a preparação de águas quentes sanitárias são calculadas através da fórmula:

$$Na = \frac{0,081 * Maqs * \eta d}{Ap} \quad (\text{Eq. 11})$$

Em que:

- *Maqs*, consumo médio diário de referência (Anexo VI RCCTE [1]);
- *ηd* , número anual de dias de consumo de AQS (Anexo VI, quadro VI.2, RCCTE [1]);
- *Ap*, área útil de pavimento.

3.1.13.4 Limitação das necessidades de energia primária

O RCCTE (1) estabelece: necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária – $Ntc \leq$ limite máximo admissível de energia primária Nt .

Através de um somatório ponderado das necessidades de aquecimento, arrefecimento e de produção de águas quentes, são estimadas as necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (Ntc).

A expressão de cálculo é:

$$Ntc = 0,1 * \left(\frac{Nic}{\eta i} \right) * Fpui + 0,1 * \left(\frac{Nvc}{\eta v} \right) * Fpuv + Nac * Fpua \quad (\text{Eq. 12})$$

Em que:

- *Nic*, necessidades nominais de aquecimento;
- *Nvc*, necessidades nominais de arrefecimento;
- *Nac*, necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias;
- *ηi , ηv* , eficiência nominal dos equipamentos para aquecimento e arrefecimento, valores fornecidos pelo fabricante ou através do art.º 18 do RCCTE [1];
- *Fpui*, *Fpuv* e *Fpua*, factores de conversão entre energia útil e energia primária relativos ao aquecimento, arrefecimento e produção de águas quentes sanitárias, respectivamente, valores obtidos através do Artº 18 do RCCTE [1].

O limite máximo admissível de energia primária (Nt), é encontrado através da fórmula:

$$Nt = 0,9 * (0,01 * Ni + 0,01 * Nv + 0,15 * Na) \quad (\text{Eq. 13})$$

Em que:

- *Ni*, necessidades nominais máximas de aquecimento;
- *Nv*, necessidades nominais máximas de arrefecimento;
- *Na*, necessidades nominais máximas de energia para a preparação de AQS;

Os factores de ponderação incluídos nesta equação pretendem traduzir os padrões típicos de consumo nas habitações. Ficando patente que as habitações não são aquecidas vinte e quatro horas por dia nas estações de aquecimento ou arrefecimento.

Na Figura 3.28 encontra-se um esquema interpretativo do acima referido.



Figura 3.28 – Esquema resumo da regulamentação/certificação energética [21]

Os valores dos requisitos para as várias soluções são os seguintes:

Quadro 3.20 – Valores das necessidades nominais de energia e valores limites máximos das soluções

Valores das necessidades nominais de energia e valores limites máximos	Solução A (solução original)	Solução B (solução melhorada)	Solução B2 (solução melhorada em zona I3V3)	Solução C (solução em betão e alvenaria)
$Nic \leq Ni$ (kWh/m ² .ano)	$80,12 \leq 90,61$	$61,20 \leq 90,77$	$135,69 \leq 155,07$	$89,77 \leq 95,34$
$Nvc \leq Nv$ (kWh/m ² .ano)	$4,21 \leq 16$	$4,98 \leq 16$	$9,51 \leq 26$	$0,41 \leq 16$
$Nac \leq Na$ (kWh/m ² .ano)	$18,86 \leq 39,53$	$3,82 \leq 39,53$	$4,13 \leq 39,53$	$12,18 \leq 39,53$
$Ntc \leq Nt$ (Kgep/m ² .ano)	$2,46 \leq 6,30$	$0,83 \leq 6,30$	$1,46 \leq 6,97$	$1,98 \leq 6,34$

3.1.14 Classe de eficiência energética

A classe de eficiência energética de um edifício é encontrada através da relação entre as necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (N_{tc}) e o limite máximo admissível de energia primária (N_t). Na figura 3.29 apresenta-se a classificação energética em vigor.

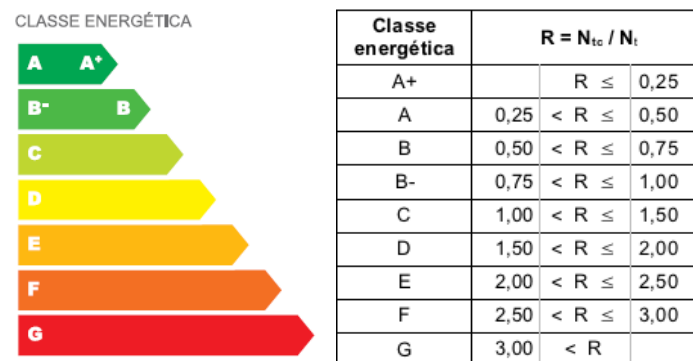


Figura 3.29 – Classes energéticas e seus valores limite [18]

A classe de eficiência energética obtida para cada uma das soluções encontra-se indicada no Quadro 3.21.

Quadro 3.21 - Valor da relação entre as necessidades globais anuais nominais de energia primária (N_{tc}) e o limite máximo admissível de energia primária (N_t) e classe energética das várias soluções

Solução	$R = N_{tc}/N_t$	Classe energética
A	0.39	Classe A
B	0.13	Classe A +
B2	0.21	Classe A +
C	0.31	Classe A

3.1.15 Passos para uma casa A+ (medidas de melhoria e suas consequências)

Concluído o estudo térmico das várias soluções construtivas, explicam-se os passos dados para passar de uma classe energética A, correspondente à solução original, para uma classe A+, relativa à solução B, com a melhoria das condições de conforto e ainda tendo em conta a sustentabilidade da solução.

As medidas de melhoria aplicadas neste domínio foram realizadas na envolvente opaca, em particular nas paredes exteriores, nos vãos envidraçados, no sistema de ventilação e aquecimento de águas quentes sanitárias.

Descrevem-se nos capítulos seguintes essas mesmas medidas de melhoria de forma detalhada.

3.1.15.1 Melhoria da envolvente opaca

3.1.15.1.1 Paredes exteriores

As melhorias consideradas para as paredes exteriores, baseiam-se em:

- aumento da espessura do isolante térmico em cortiça da zona corrente das paredes exteriores em 2 cm de espessura;
- colocação de isolante térmico, placas de cortiça com uma espessura de 3 cm na zona de ponte térmica plana das paredes exteriores;
- correcção da ligação fachada/padieira, ombreira ou peitoril, eliminando a ponte térmica linear.

As medidas de melhoria acima definidas são reflectidas pela diminuição do valor do coeficiente de transmissão térmica (U), conforme se indica no Quadro 3.22, e pela diminuição das perdas energéticas devidas às pontes térmicas lineares. Esta melhoria só é conseguida através da colocação do isolante térmico na envolvente do vão, junto das caixilharias, como evidencia a Figura 3.30.



Figura 3.30 – Envidraçado isolado de forma a corrigir a ponte térmica ligação da fachada/padieira, ombreira ou peitoril [44]

No Quadro 3.22 vêem-se os efeitos positivos conseguidos através das melhorias implementadas.

Quadro 3.22 – Comparação dos valores do coeficiente de transmissão térmica (U) da solução A e solução B, e das perdas energéticas através das pontes térmicas lineares

Solução	$U_{zcorrente}$ (W.m ² /°C)	U_{zptp} (W.m ² /°C)	Perdas através de PTL's (W/°C)
A	0.52	0.92	8,07
B	0.41	0.55	5,27

O tipo de isolante térmico também foi alterado optando-se pelo aglomerado negro de cortiça por ser um produto natural de origem portuguesa, ecológico e reutilizável.

Em termos ecológicos, no processo de fabrico usa-se apenas vapor de água sobreaquecido, recorrendo a geradores de vapor alimentados com os próprios resíduos da trituração e dos acabamentos, não havendo a inclusão de outros produtos sem ser a cortiça. A aglomeração é feita com base nas resinas da própria cortiça, tendo-se assim um produto 100% natural e ecológico.

A cortiça é também um fixador de CO₂. Ao incrementar-se o uso da cortiça, obtém-se um aumento da fixação de CO₂, combatendo-se o aquecimento global.

A reutilização é uma característica única deste produto. No fim da vida útil de um edifício, as placas de aglomerado de cortiça podem ser removidas e reutilizadas, se as suas condições técnicas assim o permitirem. Caso as condições técnicas não o permitam, as placas passam por um processo de trituração, obtendo-se um regranulado

de cortiça, que irá ter novas aplicações, como isolamento térmico ou como inerte no fabrico de betões e argamassas leves.

Os aglomerados de cortiça podem conter outros tipos de resíduos procedentes de outros produtos de cortiça, rolhas, restos de painéis de aglomerado, contribuindo assim para a reciclabilidade global.

O cálculo térmico não tem alterações porque o valor da condutibilidade térmica (λ), é igual ao da lã de rocha, 0.040 W/(m°C).

No Quadro 3.23 analisam-se as características mais influentes para o comportamento térmico do aglomerado de cortiça.

Quadro 3.23 – Características térmicas do aglomerado de cortiça

Massa volúmica	100 - 140 kg/m ³
Coefficiente de condutividade térmica ($\theta_m = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$)	0.039 – 0.045 W/m°C
Calor específico (a 20 °C)	1.7 – 1.8 kJ/kg °C
Coefficiente de expansão térmica (20 °C)	25 – 50 * 10 ⁻⁶
Difusividade térmica	0.18 – 0.20 * 10 ⁻⁶ m ² /s
Permeabilidade ao vapor de água	0.002 – 0.006 g/m h mmHg
Deformação sob temperatura (80 °C)	1.4 a 2.4 % (espessura)

3.1.15.2 Laje de pavimento e cobertura

Na laje de piso manteve-se a versão original. No entanto, na cobertura optou-se por retirar o painel isotérmico implementando-se um revestimento de chapas isotérmicas compostas, melhoria que não altera o cálculo térmico pelo facto da resistência térmica deste revestimento não entrar no cálculo do coeficiente de transmissão térmica.

As chapas são compostas por cinco camadas (ver Figura 3.31).

- 1 – folha em alumínio gofrado;
- 2 – chamada betuminosa com cargas minerais;
- 3 – chapa de aço galvanizada;
- 4 – primário betuminoso;
- 5 – folha em alumínio gofrado.



Figura 3.31 – Chapa composta [92]

Características das chapas compostas:

- não necessita qualquer manutenção, mesmo em ambientes agressivos;

- as camadas de protecção insonorizam a chapa isotérmica e amortecem os barulhos da chuva e dos sons aéreos;
- isolamento sonoro a sons aéreos. Os valores de índice de redução sonora foram determinados para dezasseis bandas de frequência com largura de um terço de oitava e frequências centrais compreendidas entre 125 Hz e 4000 Hz;
- o poder de reflexão (R) da chapa isotérmica composta reduz o calor absorvido pela cobertura. Também o seu reduzido poder de irradiação (I) limita a transmissão para o interior da cobertura do calor absorvido;
- o valor de resistência térmica (R) é de $0,021 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

Este sistema deve ser ventilado. Ou seja, deve deixar-se uma folga no assentamento do revestimento para que haja ventilação inferior dos painéis. Existindo ventilação a humidade desaparece juntamente com os fungos e patologias a ela associados.

3.1.16 Melhoria dos vãos envidraçados

As melhorias dos vãos envidraçados estão relacionadas com as características do material das caixilharias, adoptando-se caixilhos em madeira para as soluções B e B2 e ainda vidros mais eficientes, 4 a 8 mm + 5 mm, com espessura de lâmina de ar de 16 mm, e estores venezianos, que possibilitam um sombreamento do vão envidraçado, reduzindo assim os ganhos solares na estação de arrefecimento.

Os benefícios destas medidas são a diminuição dos valores de U para os envidraçados e a diminuição dos ganhos solares pelos envidraçados no quadrante Sul, como se pode ver no Quadro 3.24.

Quadro 3.24 – Comparação do valor do coeficiente de transmissão térmica (U) e dos ganhos solares através dos envidraçados das soluções A e B

Envidraçado	U solução A (W.m ² /°C)	U solução B (W.m ² /°C)	Ganhos Solares (kWh) Sol. A	Ganhos Solares (kWh) Sol. B
E1 – Norte	2,91	2,5	125,42	138,68
E2 – Norte	2,91	2,5	40,08	44,32
E3 – Norte	2,91	2,5	48,61	52,24
E4 – Oeste	2,91	2,5	101,30	61,00
E5 – Oeste	2,91	2,5	12,05	7,51
E6 – Sul	2,91	2,5	26,91	19,17
E7 – Sul	2,91	2,5	64,49	64,47
E8 – Sul	2,91	2,5	140,99	93,92
E9 – Este	2,91	2,5	54,23	34,90

3.1.17 Melhoria da ventilação

No âmbito dos sistemas de ventilação implementou-se um sistema de ventilação natural, melhoria com que se conseguiu um benefício na taxa de renovação nominal.

De acordo com o RCCTE [1], os edifícios em que exista ventilação natural, conforme a norma EN NP 1037 - 1 [39], o valor de R_{ph} a adoptar é de 0,6 ren/h, valor este adoptado na solução B. Na solução A o valor atribuído de R_{ph} é de 0,99 ren/h.

3.1.18 Melhoria dos sistemas de aquecimento de água quente sanitária

Relativamente a este aspecto, a melhoria passa pela substituição do sistema solar para o aquecimento da água de uso sanitário. Na solução A é utilizado um sistema de colectores planos com as características dos colectores padrão da ADENE⁶ e na solução B é usado um sistema *Baxi-Roca* mais eficiente. Assim, obtém-se um aumento do valor de E_{solar} , passando de 942 kWh/ano na solução A para 1780 kWh/ano na solução B.

No Quadro 3.25 sintetizam-se as medidas de melhoria aplicadas e as suas consequências benéficas, em termos de cálculo térmico, influenciando o aumento da classe energética.

⁶ Agência para a energia

Quadro 3.25 – Quadro resumo das medidas de melhoria aplicadas e suas consequências

Elemento sujeito a melhoria	Medida de melhoria	Consequências
Paredes exteriores	Aumento da espessura de isolante térmico da zona corrente	Diminuição do valor de U
	Colocação de isolante térmico na zona de ponte térmica das paredes exteriores	Diminuição do valor de U
	Correcção da ligação da fachada/padieira ou peitoril	Diminuição das perdas energéticas
Vãos envidraçados	Uso de caixilharias em madeira	Diminuição do valor de U
	Solução de envidraçados mais eficientes	
Ventilação	Implementação de um sistema de ventilação natural	Diminuição do valor da taxa de renovação nominal e redução das perdas por renovação de ar
Sistemas de aquecimento de águas quentes sanitárias	Implementação de sistemas mais eficazes com melhor rendimento	Aumento do valor de Esolar

3.2 Análise do comportamento térmico das várias soluções

A análise do comportamento térmico das quatro soluções construtivas (A, B, B2 e C) baseia-se no cálculo efectuado através do método preconizado pelo RCCTE [1].

Esta análise é feita através da comparação das perdas e ganhos térmicos, factores que afectam de forma negativa o edifício ou a fracção nas estações de aquecimento e arrefecimento.

3.2.1 Perdas térmicas

Para o cálculo das perdas térmicas consideram-se os elementos ligados às envolventes, exterior e interior, aos vãos envidraçados e renovação de ar. Nos gráficos das Figuras 3.32, 3.33 e 3.34 estão quantificados os valores e percentagens das perdas térmicas das várias soluções.

Assim sendo para a solução A, tem-se:

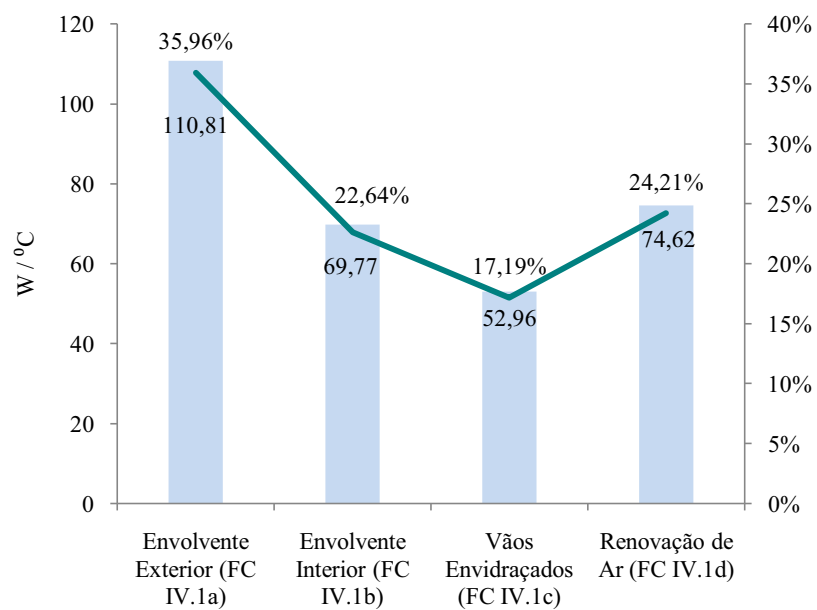


Figura 3.32 – Perdas térmicas da solução A

Para a solução B e B2:

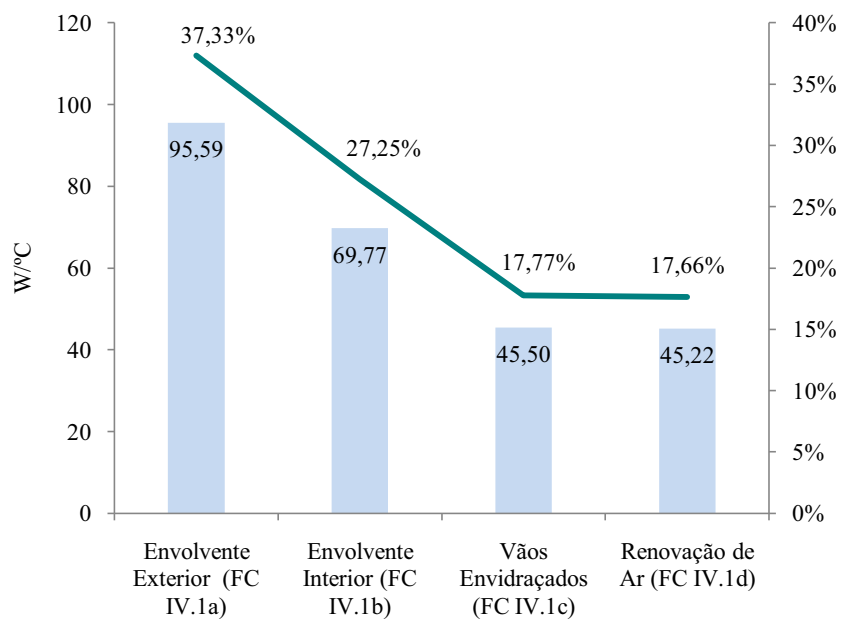


Figura 3.33 – Perdas térmicas da solução B e B2

Para a solução C:

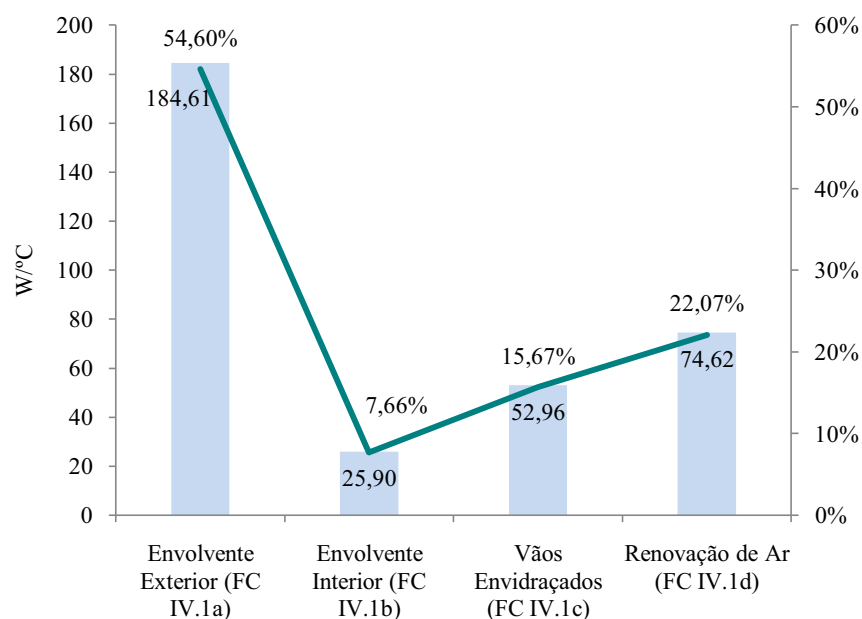


Figura 3.34 – Perdas térmicas para a solução C

Da análise dos resultados, verifica-se que a solução A comparada com a solução B, apresenta mais perdas de forma global. Nas soluções B e B2, as perdas diminuem em todos os parâmetros em relação à solução A, constatando-se a efectividade das melhorias implementadas.

As perdas térmicas dão-se maioritariamente pela envolvente exterior. Na solução C, perfazem 54,60% das perdas térmicas globais, e nas soluções A, B e B2, perfazem, respectivamente, 35,96% e 37,33%.

Nas soluções A e C as perdas por renovação de ar são as que maior impacto causam, a seguir às da envolvente exterior.

As melhorias implementadas e discutidas no Capítulo 3.1.15, fazem-se notar em todas as formas de perda de energia, mas sem dúvida existe uma pronunciada descida das perdas por renovação de ar, passando de 74,62 W/°C, na solução A e C, para 45,22 W/°C, nas soluções B e B2. Globalmente o peso das perdas pela renovação de ar também diminui passando de 24,21% e 22,07%, nas soluções A e C, respectivamente, para 17,66%, nas soluções B e B2.

As perdas pela envolvente interior, nas soluções A, B e B2 têm um valor de 69,77 W/°C. Apesar deste valor ser idêntico para estas três soluções, o peso em termos

percentuais no valor total é diferente. Na solução A é de 22,64%, sendo menos influente que as perdas pela envolvente exterior e pela renovação de ar. Nas soluções B e B2, este valor é de 27,25%, sendo o segundo factor de maior influência nas perdas térmicas totais. Na solução C, as perdas pela envolvente interior têm uma importância menor, apenas 7,66%. Isto porque a envolvente interior da solução tem menos elementos que a envolvente interior das outras soluções.

O resto das perdas é operacionalizado pelos vãos envidraçados. Verifica-se que as soluções A e C têm um valor de perdas superior ao das soluções B e B2, sendo de, 52,96 W/°C para ambas, mas com percentagens diferentes, 17,19% e 15,67%, respectivamente.

Analisando-se o tipo de construção, uma em madeira a outra em alvenaria e betão armado, constata-se que para a solução A, que é a solução em madeira original, a solução corrente em alvenaria e betão armado, tem mais perdas na envolvente exterior, mas inferiores em termos de envolvente interior.

O valor total de perdas da solução C é maior que o das outras soluções, sendo 338,09 W/°C e para a solução A, a mais desfavorável em madeira, 308,16 W/°C.

Na Figura 3.35 apresenta-se o gráfico relativo às perdas totais acumuladas.

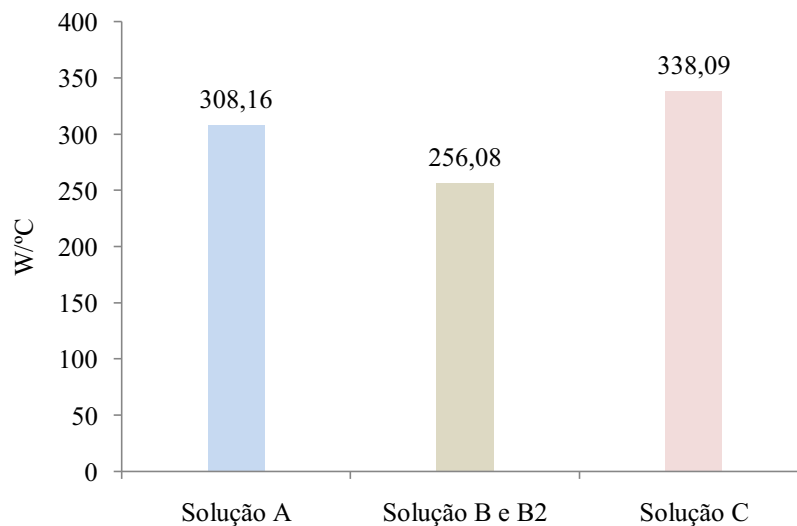


Figura 3.35 – Coeficiente global de perdas para as várias soluções

Este aumento de perdas energéticas implica um aumento das necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}).

Conclui-se, assim, que as medidas de melhoria implementadas são eficazes, por diminuírem o valor global das perdas e o valor de N_{ic} .

Dado verificar-se que os valores das perdas térmicas da envolvente exterior são os maiores, de seguida para cada situação, avaliam-se os factores que mais contribuem para as perdas térmicas pela envolvente exterior.

As perdas da envolvente exterior, neste projecto, dependem de:

- paredes exteriores (zona corrente);
- pontes térmicas planas;
- pavimentos exteriores;
- coberturas exteriores (apenas na solução C);
- pontes térmicas lineares.

Nas Figuras 3.36, 3.37 e 3.38 é possível ver o peso de cada aspecto referido, nas perdas térmicas de cada solução.

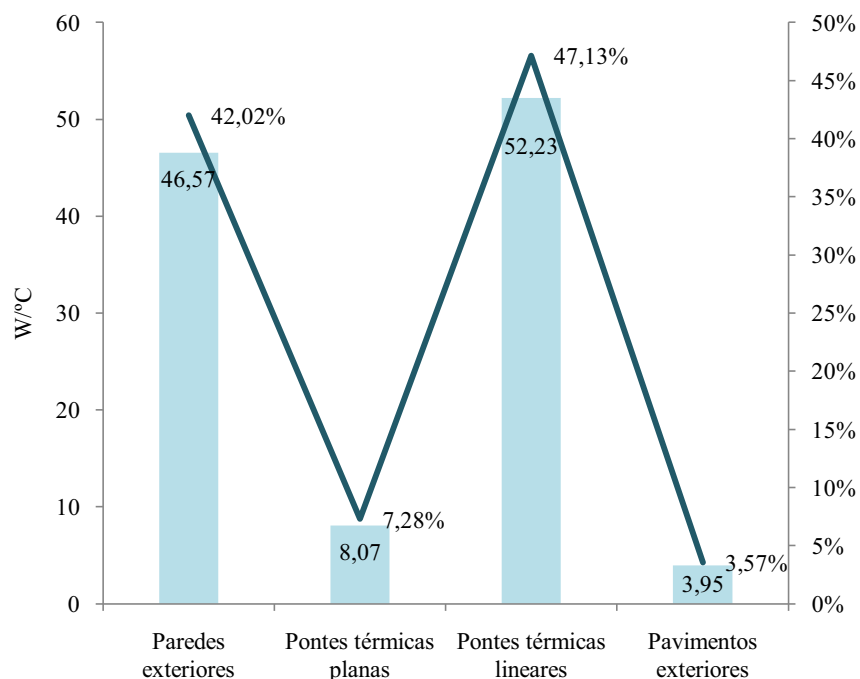


Figura 3.36 – Perdas térmicas associadas à envolvente exterior da solução A

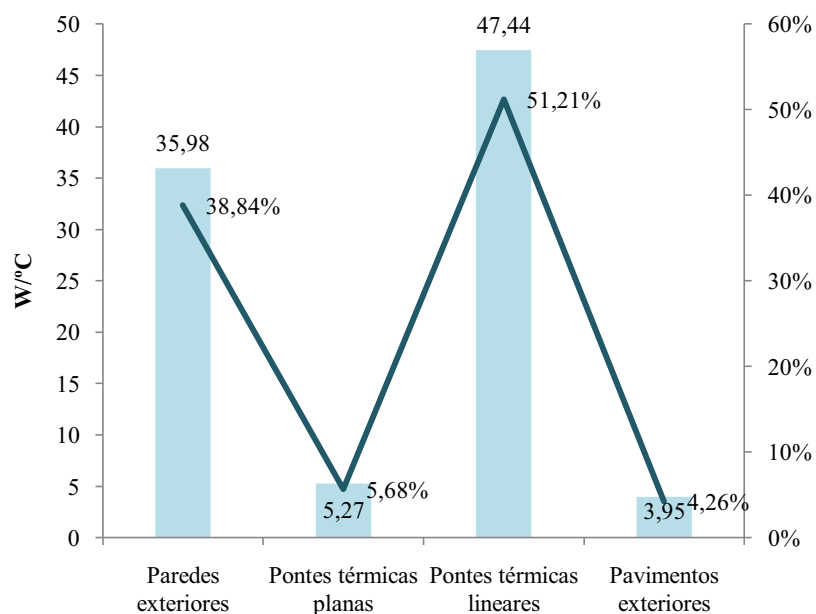


Figura 3.37 – Perdas térmicas associadas à envolvente exterior da solução B e B2

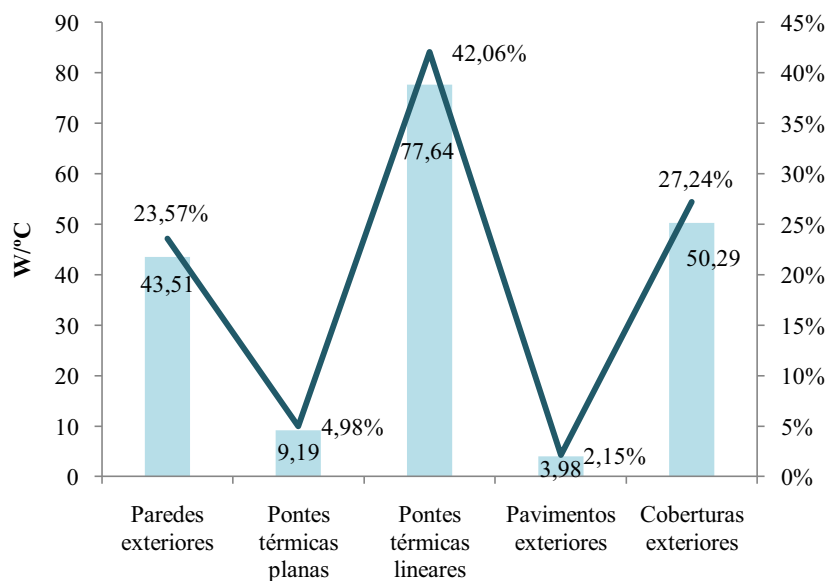


Figura 3.38 – Perdas térmicas associadas à envolvente exterior da solução C

Nas perdas associadas à envolvente exterior o factor que em todas as soluções mais influência são, as pontes térmicas lineares. Sendo a solução C a mais afectada com um valor de 77,64 W/°C com um peso de 42,06% na globalidade das perdas energéticas. Para as outras soluções o valor das perdas térmicas através das pontes térmicas lineares

é de 52,23 W/°C com um peso de 47,13% na solução A e de 51,21% nas soluções B e B2.

As diferenças das soluções construtivas de madeira para a de betão armado com painéis de enchimento em alvenaria ficam patentes nas perdas através da cobertura exterior. O tipo de cobertura usado na construção da solução C faz com que haja mais perdas pela cobertura, uma vez que a cobertura nas soluções A, B e B2 não está em contacto com o exterior. Estas perdas apenas se consideram na solução C, sendo de 50,29 W/°C, constituindo o segundo factor com mais influência nas perdas energéticas com uma percentagem de 27,24%.

Nas soluções A, B e B2 as paredes exteriores são o segundo aspecto a influenciar as perdas energéticas pela envolvente exterior. Da solução A para a solução B há uma diminuição deste valor, devido à melhoria implementada (aumento da espessura do isolamento térmico). Para a solução A, o valor é de 46,57 W/°C com uma percentagem de 42,02%, e para as soluções B e B2, o valor é de 35,98 W/°C, com uma percentagem de 38,84%. Na solução C, as perdas associadas às paredes exteriores surgem como a terceira causa mais importante das perdas, com um valor de 43,51 W/°C e com uma percentagem de 23,57%.

As perdas associadas às pontes térmicas planas, são mais altas na solução C, 9,19 W/°C, do que nas soluções A, B e B2, 8,07 W/°C e 5,27 W/°C respectivamente, o que realça a influência dos tipos de solução construtiva, verificando-se que as soluções em madeira são menos afectadas por este tipo de perdas. Note-se que na solução A, não existe qualquer medida de minimização para este tipo de perdas associadas.

Da solução A para a solução B, existe igualmente um abaixamento deste valor, reflectindo mais uma vez as melhorias implementadas - aumento da espessura do isolante e colocação de isolante térmico entre os painéis OSB3 e as frames verticais - para correcção das pontes térmicas planas.

Em termos de percentagem, nas soluções baseadas em estrutura de madeira, estas perdas são mais importantes, do que na solução em betão armado e painéis de enchimento em alvenaria, sendo para a solução A, 8,07%, para as soluções B e B2, 5,27 % e para a solução C, 4,98%.

As perdas associadas ao pavimento exterior são as perdas com menor influência. Esta perda é a de menor importância, pois tem um baixo peso global, 3,95% para a solução A, 4,26% para as soluções B e B2 e 2,15% para a solução C, respectivamente.

Analisando o valor global das perdas associadas à envolvente exterior, como mostra o gráfico da Figura 3.39, o valor da solução C é o mais elevado, 184,61 W/°C, concluindo-se assim, que as soluções construtivas em estruturas de madeira têm melhor comportamento que a solução em alvenaria e betão. Verifica-se igualmente uma diminuição da solução A, 110,81 W/°C, para as soluções B e B2, 100,37 W/°C, concluindo-se, assim, que as medidas de melhoria indicadas produzem efeitos positivos.

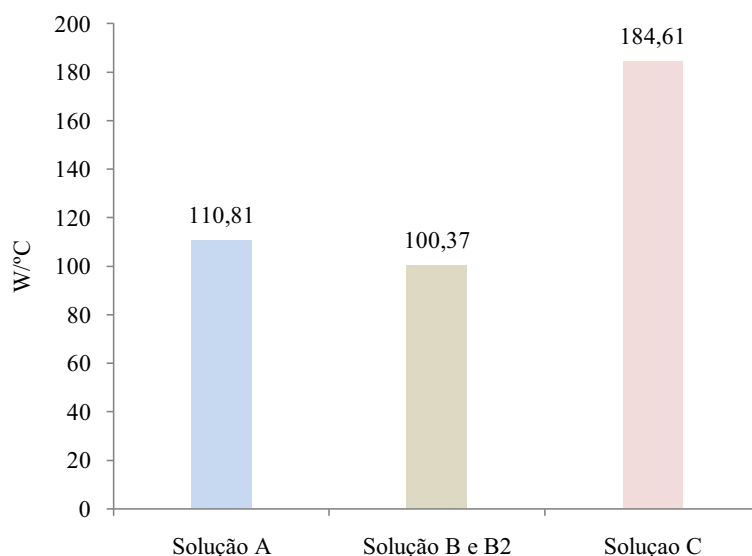


Figura 3.39 – Valor total das perdas associadas à envolvente exterior das soluções

3.2.2 Ganhos solares térmicos

Em termos de ganhos solares, estes são compostos pelos ganhos através dos envidraçados, envolvente opaca exterior e ganhos internos (iluminação, electrodomésticos, presença humana...). Para as várias soluções os ganhos internos são os que mais contribuem, seguidos pelos ganhos através dos envidraçados. Neste aspecto a solução B tem uma melhoria em relação às soluções A e C, que se deve à melhoria implementada: uso de estores venezianos, que proporcionam um sombreamento do vão envidraçado. Os ganhos provenientes da envolvente opaca exterior têm uma importância menor em comparação com os outros dois tipos de ganhos. A percentagem mais alta para este tipo de ganho no valor global dos ganhos solares é de 11,78%, na solução A, sendo na solução B de, 10,24%, a mais baixa, redução que se deve às

alterações implementadas nas paredes exteriores (aumento da espessura de isolante térmico).

Analisando-se os valores dos ganhos solares, nas soluções em estudo de madeira e na solução em betão armado e alvenaria, para o zonamento I₁V₁, os valores não são muito distintos em relação às soluções A e C, 1887,50 kWh e 1860,20 kWh, sendo superiores na solução A. Com as medidas de melhoria implementadas, os valores dos ganhos térmicos baixam. A solução B não apresenta apenas um valor menor que a solução A, apresenta também os ganhos que ficam abaixo da solução C, de 1745,98 kWh.

Da análise dos valores dos gráficos da solução B2, verifica-se que os valores são mais elevados que os da solução B com zonamento I₁V₁. Verificando-se assim, que o zonamento é um factor com importância nos ganhos solares.

De seguida, nas Figuras 3.40, 3.41, 4.42 e 3.43 serão apresentados os resultados referente aos ganhos solares na estação de arrefecimento para as quatro soluções estudadas (A, B, B2 e C), e na Figura 3.44 os ganhos globais para cada uma das soluções:

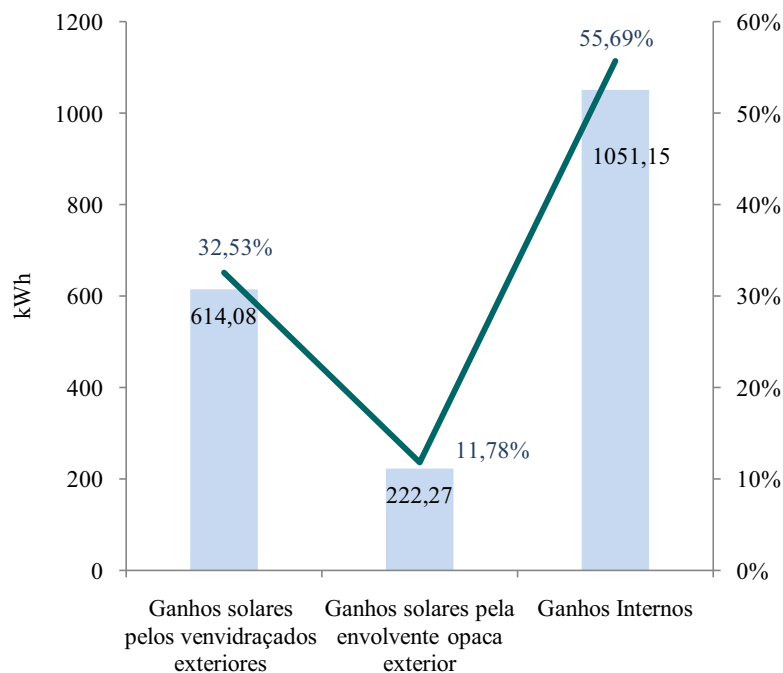


Figura 3.40 – Ganhos na estação de arrefecimento da solução A

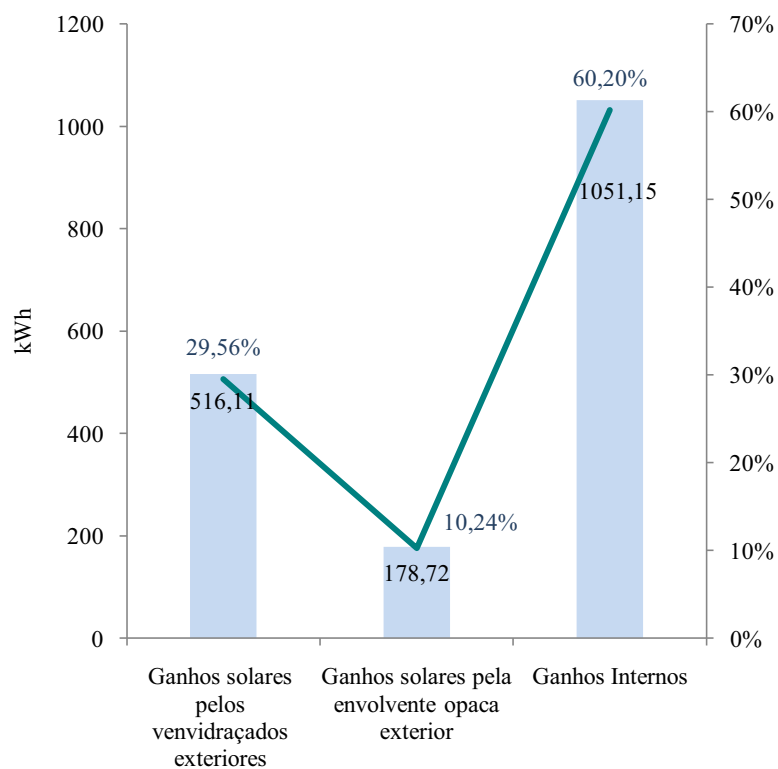


Figura 3.41 - Ganhos na estação de arrefecimento da solução B

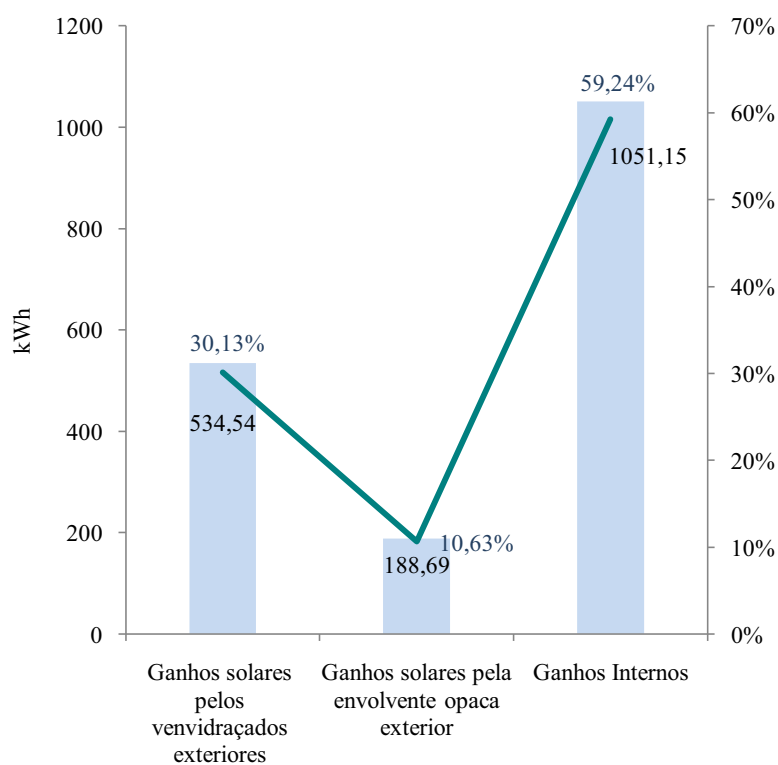


Figura 3.42 - Ganhos na estação de arrefecimento da solução B2

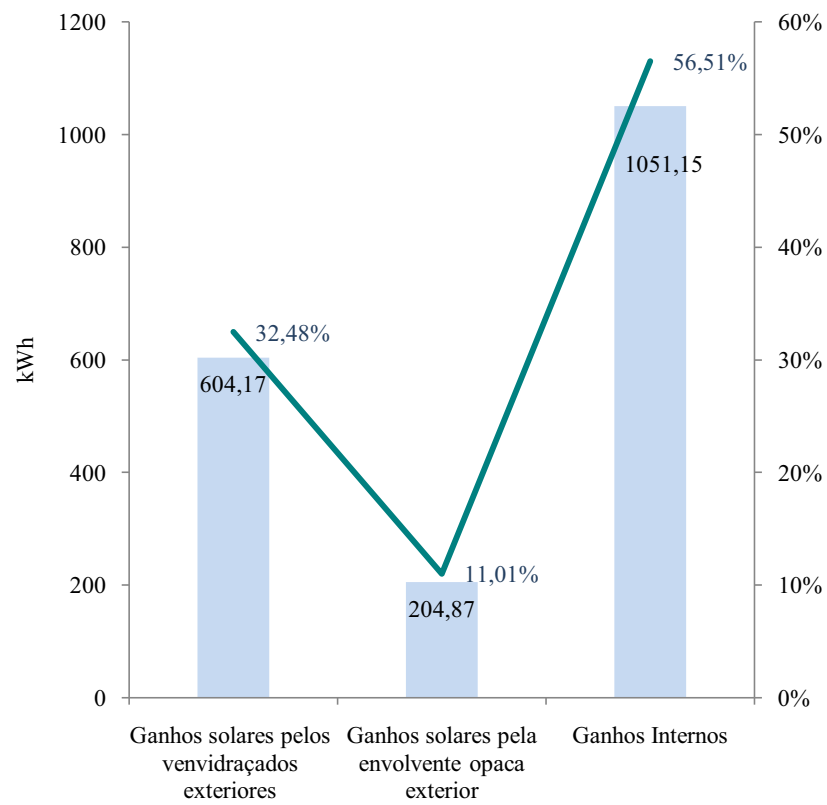


Figura 3.43 - Ganhos na estação de arrefecimento da solução C

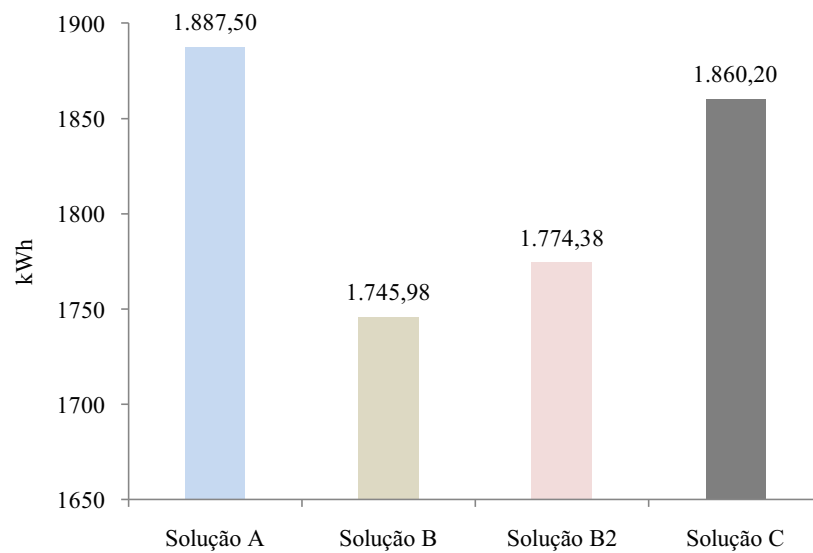


Figura 3.44 – Ganhos térmicos das soluções

3.2.3 Análise das pontes térmicas

As pontes térmicas lineares são mais influentes na solução C, solução de betão e alvenaria, com um valor em termos de perdas térmicas de 77,64 W/°C. As soluções A, B e B2 têm um valor relativo às perdas térmicas de 52,23 W/°C e 47,44 W/°C, respectivamente.

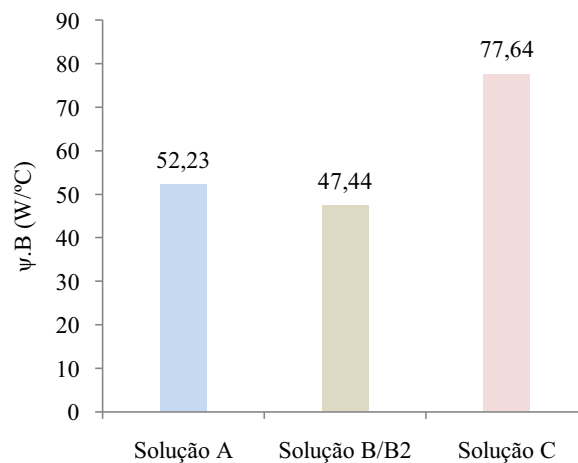


Figura 3.45 – Valor total das perdas térmicas por pontes térmicas lineares das soluções

As pontes térmicas planas assumem praticamente o mesmo nível de importância, em termos de perdas térmicas para as soluções A e C, com um valor de 8,07 W/°C e 9,19 W/°C. Para as soluções B e B2, as pontes térmicas planas traduzem-se em 5,27 W/°C.

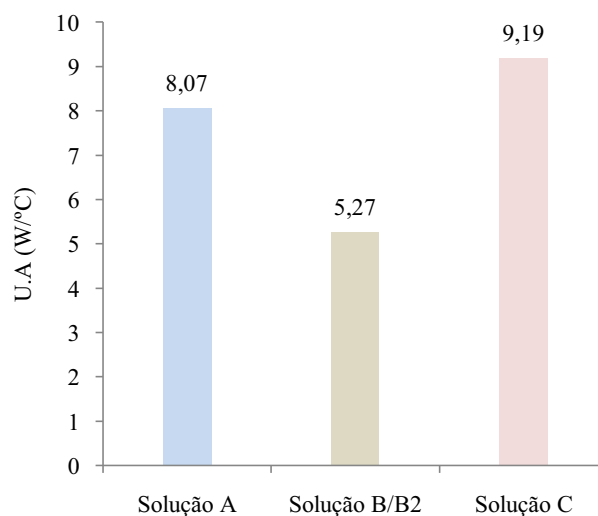


Figura 3.46 – Valor total das perdas térmicas por pontes térmicas planas das soluções

Nos gráficos do Capítulo 3.2.1 constatou-se que as pontes térmicas lineares, em termos de percentagem são para a solução A 47,13%, para as soluções B e B2 de 47,44% e na solução C 42,06%. As pontes térmicas planas têm um peso de 7,28% na solução A, 5,68% nas soluções B e B2 e 4,98% na solução C.

Dada a importância das perdas energéticas por pontes térmicas no conforto térmico de um edifício, as soluções em estudo de madeira são menos influenciadas por estas, do que as soluções em betão armado e alvenaria, sendo mais um aspecto positivo das casa de madeira.

Em termos quantitativos, com o aumento de 2 cm no isolamento térmico das paredes exteriores diminui cerca de 10 W/°C, nas perdas térmicas, em 76,40 m², havendo uma diminuição de 0.13 (W/°C) /m². A implementação de isolante térmico na zona de ponte térmica plana, faz com que haja da solução A para a solução B/B2 uma diminuição de perdas térmicas de cerca de 2%, no peso global das perdas associadas à envolvente exterior. Esta diminuição, que em termos de valor não é grande, 2,8 W/°C, mas ganha importância ao perceber-se que a área referente às pontes planas é de apenas 8,96 m², havendo portanto, uma diminuição de 0.31 (W/°C)/m².

A correcção da ponte térmica linear da ligação da fachada/padieira ou peitoril, faz com que as perdas térmicas associadas às pontes térmicas lineares diminuam 4,79 W/°C, da solução A para a B/B2. Em cada metro linear desta ponte térmica evita-se perder 0,2 W/°C.

Outro aspecto verificado é a influência da ventilação natural. A implementação do sistema de ventilação natural origina uma diminuição de cerca de 30 W/°C, em relação à solução A e C, havendo uma diminuição de 0.13 (W/°C)/m³.

O uso de madeira nas caixilharias, e uma solução de envidraçado mais eficiente proporciona igualmente uma diminuição das perdas térmicas em cerca de 7,50 W/°C, dando uma diminuição de 0.41 (W/°C)/m². Este aspecto realça mais uma vez as qualidades construtivas da madeira.

Nos ganhos energéticos, destaca-se a melhoria verificada com a implementação de envidraçados mais eficientes devido às suas características, vidros e lâmina de ar mais espessos, contribuindo para a diminuição de ganhos solares. Esta diminuição é de cerca de 98 kWh, ou seja, 0,19 kWh/m².

Pela envolvente opaca, a poupança é de 43,55 kWh, representando uma poupança de 0,49 kWh/m².

Ou seja, conclui-se então, que para um edifício, em que se deixe de usar o sistema construtivo da solução A e se passe a usar o sistema construtivo da solução B, tem-se as vantagens sintetizadas no Quadro 3.26:

Quadro 3.26 – Diminuição das perdas e ganhos térmicos em relação às medidas de melhoria implementadas

Medida de melhoria	Diminuição das perdas térmicas	Diminuição dos ganhos térmicos
Uso de isolante térmico do tipo lã de rocha ou cortiça com 8 cm	0,13 (W/°C) / m ²	
Minimização do efeito de ponte térmica plana	0,31 (W/°C) / m ²	0,49 kWh/m ²
Eliminação da ponte térmica linear ligação fachada/padieira ou peitoril	0,2 W/°C	
Uso de caixilharias em madeira e vidros mais eficientes	0,41 (W/°C) / m ²	0,19 kWh/m ²
Ventilação Natural	0,13 (W/°C) / m ³	

3.3 Justificação da escolha por uma casa de madeira

A escolha por um sistema construtivo diferente do utilizado correntemente pode ser complexo e deve ser comparado e justificado.

A escolha efectua-se tendo em consideração as perspectivas ambientais e construtivas.

O uso da madeira na construção traduz-se por:

- ter necessidade de um menor gasto energético na sua produção;
- origem natural;
- ser biodegradável;
- ser reciclável;
- ser bom isolante térmico;
- não ser tóxica;
- fixar dióxido de carbono no seu crescimento.

Focalizando-se nas suas características ecológicas como material de construção tem-se:

- é renovável, pois o seu aproveitamento racional permite que as florestas se regenerem e aumentem a sua extensão, comparando com outros materiais ou minerais cuja extracção da natureza origina a destruição de um ecossistema e o

seu esgotamento, o aproveitamento sustentável da madeira origina o crescimento de novas árvores que ocupam o espaço deixado pelas anteriores;

- é ecológica, pois o seu crescimento cria florestas, refúgios de fauna e flora, e fixa CO₂;
- é reciclável, dado que depois de transformada num produto permite a sua reutilização;
- não é tóxica, dado ser um produto natural que transmite boas sensações ao olhar e ao tacto em termos de qualidade e segurança;
- é biodegradável, não produz contaminação aquando da sua degradação, a sua degradação ajuda a criar um solo com melhores qualidades.

Nas Figuras 3.47 e 3.48 é possível comparar a quantidade de dióxido de carbono emitido e acumulado no processo de fabricação de alguns materiais de construção comparativamente com a madeira.

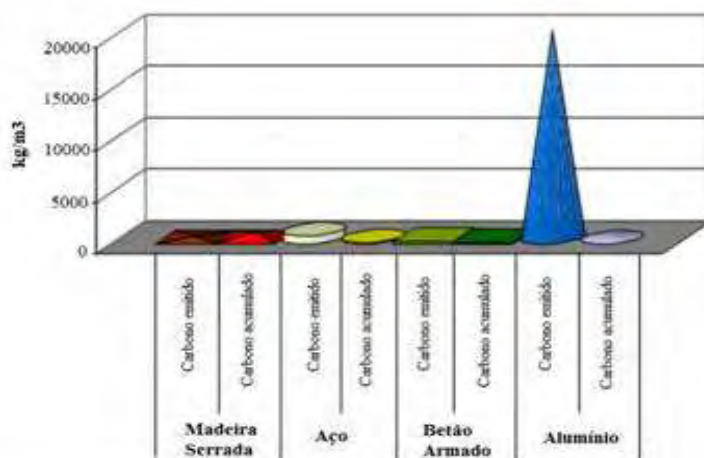


Figura 3.47 – Valor do dióxido de carbono emitido e acumulado na concepção de materiais de construção [45]

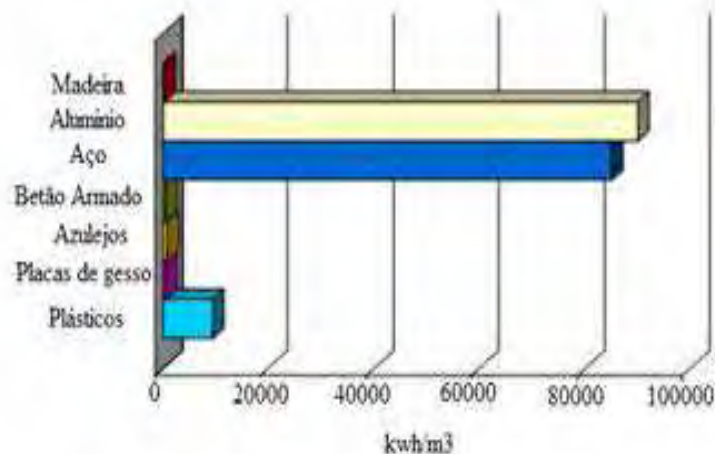


Figura 3.48 – Valor da energia consumida para produzir 1 m³ de material [45]

Em termos construtivos, as edificações em madeira têm as seguintes vantagens:

- menores perdas térmicas;
- menos pontes térmicas;
- maior facilidade de colocação de tubagens;
- elementos de construção mais finos;
- rapidez de construção;
- flexibilidade para posteriores remodelações;
- grande capacidade resistente em relação ao seu peso.

Que se materializam: pela diminuição do consumo de energia devido a menor perdas térmicas; salubridade dos edifícios pela redução de pontes térmicas por serem estas portas de entrada às patologias; facilidade de passagem de tubagens e cablagens por os elementos poderem ser furados sem perda da sua capacidade de resistência; ganhos de espaço pela menor espessura de paredes e lajes; mais rapidez na construção e redução de custos (em estaleiros e mão-de-obra) devido aos elementos serem pré-fabricados o que faz com que o tempo de espera para a utilização do edifício seja menor; facilidade de remodelação baseada nas características dos elementos construtivos; estruturas mais leves por a relação peso/resistência ser inferior a de outros materiais de construção.

3.4 Avaliação de custos e período de recuperação do investimento

A forma de avaliar os custos inerentes às melhorias tendo em vista a obtenção de uma classe energética superior fez-se através do método do Valor Actualizado Líquido (VAL), este método é uma técnica financeira sofisticada que compara os fluxos de caixa descontados com o investimento inicial. Matematicamente o VAL é dado pela expressão:

$$VAL = \sum_{i=1}^n \frac{VF}{(1+K)^i} - I.I \quad (\text{Eq. 14})$$

Sendo:

- VAL , valor actual do dinheiro;
- VF , valor futuro do dinheiro;
- K , taxa de juro do investimento ou custo do capital;
- $I.I$, investimento inicial [46].

No fundo vai ter-se receitas que se consubstanciam na poupança dos gastos de energia, ao usar-se a solução construtiva B. A diferença de custo entre a solução A e B é o investimento inicial que tem que ser feito.

O valor das receitas é actualizado conforme a alteração do valor do dinheiro no tempo, ou seja: uma receita de 1000 € futuramente não equivale a 1000 € hoje, daí a parcela do valor futuro, VF . Este valor é encontrado aplicando uma taxa de 5% de valorização do dinheiro (K). O aumento do custo da energia considerado é de 2.5% diminuído assim o valor das receitas em 2.5% anualmente.

Com este método calcula-se o período de retorno do investimento. O investimento é rentável quando o valor de VAL é superior a zero e não rentável quando é inferior a zero.

Nesta avaliação não foram considerados os custos inerentes à manutenção dos painéis solares.

Como se pode observar nos cálculos do anexo III, o período de retorno do investimento é de doze anos.

Outra forma de avaliar economicamente as medidas de melhoria, é através da fórmula seguinte:

$$\text{Custo de exploração} = \left(0.1 * \frac{Nic}{\eta i}\right) * Ap * Custoi + \left(0.1 * \frac{Nvc}{\eta v}\right) * Ap * Custov + 0.8 * Nac * Ap * Custoaqs \quad (\text{Eq. 15})$$

Sendo:

- N_{ic} , necessidades nominais de aquecimento (kWh/m²ano);
- η_i , eficiência nominal dos equipamentos utilizados para sistemas de aquecimento;
- A_p , área útil (m²);
- $Custoi$, custo da energia utilizada pelo equipamento de climatização da estação de aquecimento (€/kWh);
- N_{vc} , necessidades nominais de arrefecimento (kWh/m²ano);
- η_v , eficiência nominal dos equipamentos utilizados para sistemas de arrefecimento;
- $Custov$, custo da energia utilizada pelo equipamento de climatização da estação de arrefecimento (€/kWh);
- N_{ac} , necessidades de energia para a preparação de águas quentes sanitárias (kWh/m²ano);
- $Custo_{aq}$, custo da energia utilizada pelo equipamento de apoio da AQS (kWh/m²ano).

Após o cálculo do custo de exploração para a solução A e B, obtém-se o período de retorno através da expressão seguinte:

$$\text{Período de retorno} = \frac{\delta \text{Custo de investimento}}{\delta \text{Custo de exploração}} \quad (\text{Eq. 16})$$

Este método, em comparação com o anterior é mais realista porque tem em consideração que os equipamentos de aquecimento e arrefecimento não são usados de forma contínua. Os valores dos coeficientes usados, 0,1, para os equipamentos dos sistemas de aquecimento e arrefecimento e 0,8, para o sistema de apoio às AQS, têm por base a fórmula para se encontrar as necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária, N_{tc} . Através deste método o tempo de retorno do investimento é muito superior, 27 anos.

Os cálculos de ambos os métodos encontram-se no anexo III.1 relativos à análise económica.

Capítulo 4

Conclusões e perspectivas futuras de trabalho

Capítulo 4 – Conclusões e perspectivas futuras

4.1 Síntese do trabalho realizado

4.2 Avaliação dos resultados

4.3 Conclusões

4.3.1 Compatibilização de exigências funcionais

4.3.2 Certificação energética

4.3.3 Construção em madeira

4.3.4 Caracterização térmica

4.3.5 Análise do comportamento térmico

4.3.6 Avaliação de custos e período de recuperação do investimento

4.4 Perspectivas de trabalho futuro

4. Conclusões e perspectivas futuras de trabalho

4.1 Síntese do trabalho realizado

Esta dissertação foi dedicada ao tema de construção em madeira – exigências para a certificação energética. Primeiramente estudou-se: os aspectos associados ao desempenho térmico e conforto térmico; compatibilização das especialidades, demonstrando-se que as mesmas entram nos domínios umas das outras; na certificação energética, dando a conhecer-se o método em vigor no nosso país; na construção em madeira, apresentando vários tipos de construção em madeira, ligações usadas e características da madeira como material de construção.

De seguida, apresentaram-se várias soluções para o caso de estudo. Apresentando as diferentes tipologias construtivas, as suas características térmicas (condutibilidade térmica, coeficiente de transmissão térmica, factores solares...), respectivas medidas de melhoria, resultados obtidos no método preconizado pelo regulamento [1] e estudo técnico - económico.

Como referido no capítulo 1 a presente dissertação é organizada em quatro capítulos, destacando-se as temáticas: construção em madeira; certificação energética; desenvolvimento de soluções energeticamente eficientes; estudo de viabilidade económica.

4.2 Avaliação dos resultados

Os objectivos deste estudo centraram-se, principalmente, no desenvolvimento de uma solução construtiva capaz de obter a classificação energética de A+ para todas as zonas climáticas, e estudar o comportamento térmico de uma habitação de madeira através do RCCTE [1]. Estes objectivos, possibilitaram conhecer a madeira como material de construção, metodologias construtivas, especificidades do regulamento, relação entre especialidades e ainda análise técnico – económica.

4.3 Conclusões

De forma a ter-se uma maior percepção das principais conclusões obtidas, apresenta-se as conclusões de cada tema abordado.

4.3.1 Compatibilização de exigências funcionais

Do estudo de compatibilização de especialidades transparece a ideia que na concepção de um edifício **deve estabelecer-se um equilíbrio entre as especialidades** de forma a ter um edifício com correcto desempenho funcional sem descurar os requisitos legais de cada uma. **As especialidades estão sempre interligadas**, porque, por exemplo, é sempre através de uma parede de fachada que o ambiente interior é protegido do frio, do ruído exterior, e por lá é feita a entrada de ar que ventila o espaço. Esta mesma fachada deve ainda ter condições de segurança contra riscos de incêndio.

4.3.2 Certificação energética

Com a **escassez de recursos materiais e energéticos**, e a grande importância que o sector de construção de edifícios tem na utilização e consumo destes, é fundamental **conceber edifícios com necessidades energéticas baixas**. Para isso, deve estabelecer-se uma filosofia que passa por escolher soluções que garantam um comportamento energético mais eficaz, sem esquecer os requisitos térmicos, estruturais, acústicos, protecção contra incêndios e que tenham um processo benéfico para o ambiente desde a sua concepção até ao seu fim de vida ou substituição.

4.3.3 Construção em madeira

A ideia principal a retirar do capítulo 2, é que a madeira **constitui uma alternativa aos materiais usados correntemente no sector da construção, sendo muitas vezes superior**. Outro aspecto a reter, é a **evolução da indústria da madeira** no nosso país, as **soluções apresentadas são cada vez mais eficientes e com melhor qualidade**. O seu **uso pode ser bastante diversificado**, podendo variar entre estrutural e de acabamentos.

4.3.4 Caracterização térmica

A caracterização térmica das várias soluções é feita com base no RCCTE [1]. Ao longo da caracterização térmica foi possível perceber que existem incorrecções no regulamento. Destacando-se **a contribuição dos aparelhos de aquecimento e de preparação de águas quentes sanitárias, sendo esta exagerada**, deixando para segundo plano a qualidade térmica do ambiente e os respectivos pormenores construtivos que podiam e deveriam fazer a diferença no comportamento térmico.

Nos passos para a obtenção de uma casa com a categoria A+, é possível ver que a **influência dos painéis solares é importante**, sendo um **factor determinante na subida da classe energética**. De realçar que nas soluções B e B2 sobredimensionou-se os painéis solares para se obter a classificação A+ na zona I₃V₃. A **utilização de painéis mais eficientes diminui as necessidades de aquecimento de águas sanitárias (Nac)**, verificando-se uma diminuição da solução A para a solução B. **Esta diminuição reflecte-se igualmente nas necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária**, sendo menores na solução B, o que demonstra que a **solução B é uma solução mais económica** em termos energéticos.

4.3.5 Análise do comportamento térmico

Analisando os resultados do ponto 3.2 vê-se que **as soluções em madeira são mais eficazes que a solução corrente em alvenaria e betão**. Esta tem mais perdas térmicas que as soluções em madeira, sendo as suas necessidades nominais de aquecimento maiores, o que faz com que haja um aumento do consumo de energia.

Da análise às perdas pela envolvente exterior, os resultados demonstram que em todas as soluções **as pontes térmicas lineares são as mais influentes**. Outro aspecto a reter é a **importância do uso de isolamento térmico nas paredes exteriores e a implementação de ventilação natural**.

Da análise das pontes térmicas, planas e lineares, constata-se que são um factor importante no cálculo térmico de um edifício. Em todas as soluções constituíram-se como o **factor mais influente nas perdas térmicas associadas às envoltentes**, devendo-se usar estratégias construtivas de forma a serem minimizadas.

4.3.6 Avaliação de custos e período de recuperação do investimento

Na avaliação em termos económicos existem duas perspectivas. Uma em que é rentável implementar as medidas de melhoria, tendo um período de retorno do investimento inicial de doze anos. E outra, em que o período de retorno é de cerca de 28 anos, não sendo de forma alguma rentável o investimento feito. A conclusão a tirar é a de que **as medidas de melhoria podem não ser economicamente rentáveis** mas da sua implementação **advém sempre qualidade de vida, bem-estar e conforto ao ambiente interior de uma habitação**.

4.4 Perspectivas de trabalho futuro

O trabalho realizado permitiu dissecar novas perspectivas de trabalho futuro, tais como:

- estudo do comportamento térmico de uma habitação de madeira, através de um software de análise térmica de elementos finitos;
- comparação de uma moradia com a mesma tipologia mas de diferentes soluções construtivas em madeira (maciça, lamelada...);
- comparar o RCCTE [1] e os requisitos mínimos impostos pelo regulamento, com os vários regulamentos europeus e seus requisitos;
- quantificação da emissão de CO₂ do processo construtivo de uma moradia de soluções construtivas correntes e uma em madeira;

Capítulo 5
Bibliografía

5. Bibliografia

- [1] *Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE)*. 80, 4 de Abril de 2006.
- [2] *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)*. 96, 9 de Junho de 2008.
- [3] *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*. 79, 4 de Abril de 2006.
- [4] *Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RSCIE)*. 220, 12 de Novembro de 2008.
- [5] Gomes, Ruy José. *Necessidades Humanas e Exigências Funcionais da Habitação*. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1978.
- [6] *Sciencedirect*. [Online] [http://www.sciencedirect.com/Integrated Assesment of Thermal Performance and Acoustics, Energy and Buildings](http://www.sciencedirect.com/Integrated%20Assesment%20of%20Thermal%20Performance%20and%20Acoustics%20Energy%20and%20Buildings), consultado Novembro de 2008.
- [7] De Castro, Carlos Ferreira e Abrantes, José Barreira. *Manual de Segurança Contra Incêndio em Edifícios*. Sintra : Escola Nacional de Bombeiros, 2009.
- [8] *Fachada ventilada*. Outubro. s.l. : Dossier Técnico-Económico, Outubro 2006 Nº2.
- [9] *Maxit*. [Online] <http://www.maxit.pt/1331>, consultado Março de 2009.
- [10] *Maxit*. [Online] <http://www.maxit.pt/1331>, consultado Março de 2009.
- [11] *Maxit*. [Online] <http://www.maxit.pt/1758>, consultado Março de 2009.
- [12] *Timberacoustic - Painéis de Absorção Sonora*. [Online] <http://www.timberacoustic.com/scid/timberpt/>, consultado Março de 2009.
- [13] *Reynaers* [Online] <http://www.reynaers.com/ReynaersAluminium/pt/pt/produtos/ventalis.aspx>, consultado Abril de 2009.
- [14] *Aireador Oculto para ventanas*. s.l. : Regel-air, 2009.

- [15] *EPUL - Empresa Pública de Urbanização de Lisboa*. [Online]
http://www.epul.pt/manualtxxi/TXXIPRESS_2/APARTAMENTOS/VENTILACAO.htm, consultado Abril de 2009.
- [16] *INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*. [Online]
<http://www.ineti.pt>, consultado Novembro 2008.
- [17] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia. [Online] <http://www.dgge.pt>, consultado Novembro de 2008.
- [18] *Agência para a Energia*. [Online] <http://www.adene.pt>, consultado Novembro 2008.
- [19] *Directiva Europeia do Desempenho Energético dos Edifícios*. s.l. : CE (EPBD), 2002/91.
- [20] *Energy Performance of Buildings, Calculation Procedures Used in European Countries*. s.l. : EMPER - TEBUC, 2003.
- [21] Camelo, Susana, et al. *Manual de Apoio à Aplicação de RCCTE*. Lisboa : s.n., 2006.
- [22] Daumas, Marcel. *Les grandes étapes du progrès technique*. Paris : P.U.F., 1981.
- [23] França, José Augusto. *Lisboa Pombalina e o Iluminismo*. Lisboa : Livros Horizonte, 1965.
- [24] *Protoconcept*. [Online] www.protoconcept.pt, consultado Novembro de 2008.
- [25] *Archaeological exhibition and activity centre in Yli-li, Finland*. [Online]
<http://www.kierikki.fi/sivu/en/kierikkikeskus/arkkitehtuuri/>, consultado Março de 2009.
- [26] *Estruturas de madeira*. [Online]
http://estruturasdemadeira.blogspot.com/2007_02_25_archive.html, consultado Março 2009.
- [27] *Casas de madeira*. [Online] <http://www.casas-de-madeira.eu>, consultado março de 2009.

- [28] Henriques, Maria Dulce Franco. *Sistemas Estruturais em Madeira Lamelada Colada*. Lisboa : Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- [29] *Stylepark*. [Online] <http://www.stylepark.com/en/finnforest/kertos>, consultado Março de 2009.
- [30] *Channel4*. [Online]
<http://www.channel4.com/4homes/images/mb/Channel4/4homes/diy-and-self-build/self-build-advice/a-z-of-self-build-guides/engineered-wood-is-changing-architecture/wood-kerto1-md.jpg>, consultado Março de 2009.
- [31] Jular. [Online] <http://www.jular.pt>, consultado Março de 2009.
- [32] Coutinho, Joana De Sousa. *Materiais de Construção 1 - Madeiras*. Porto : Faculdade de Engenharia do Porto, 1999.
- [33] Dos Santos, Carlos A. Pina e Matias, Luis. *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- [34] Martitegui, Francisco Arriaga. *Curso Construcción en Madera*. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2007.
- [35] *Forum da Construção*. [Online]
<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=27&Cod=143>, consultado Maio de 2009.
- [36] Sombrear. [Online] <http://www.sombrear.pt/palas80p.asp>, consultado Junho de 2009.
- [37] Mourtada, Adel. *ExpertOverview of Thermal Building Codes in Europe and MEDA Region : Assessment of compliance and enforcement status*. Damascus, Syria : s.n., 2009.
- [38] Rodrigues, António Moret, Braga, Ana Marta e Piedade, Ana Canha da. *Térmica de Edifícios*. Lisboa : Orion, 2009.
- [39] *EN NP 1037 - 1, Ventilação e Evacuação dos Produtos da Combustão dos Locais com Aparelhos a Gás, Parte 1: Edifícios De Habitação, Ventilação Natural* . 2002.

- [40] Viegas, João Carlos. *Ventilação Natural de Edifícios*. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1996.
- [41] Arcoweb. [Online] <http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/cesar-dorfman-arquitetura-e-urbanismo-e-paulo-zimbres-arquitetos-biblioteca-22-02-2009.html>, consultado Junho de 2009.
- [42] *Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes; Decreto-lei N° 235/83 de 31 de Maio*. s.l. : Porto Editora 2007.
- [43] *Soluções Completas Para Sistemas Solares*. Evosolar : s.n., 2009.
- [44] *Forum da casa*. [Online] <http://forumdacasa.com>, consultado Junho 2009.
- [45] *La Madera Y La Construcción*. s.l. : Confomadera (Confederación Española de Empresarios de la Madera), 2009.
- [46] Miguel, António Soares Gomes. *Gestão e Liderança de Projectos*. s.l. : CapGemini Ernst & Young, 2002.
- [47] Valério, Jorge Gustavo Marques Alface Pereiro. *Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes*, Dissertação para a Obtenção ao Grau de Mestre em Engenharia Civil. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2007.
- [48] Sthéphane, Citherlet e Macdonald, Iain. *Integrated Assessment of Thermal Performance and Room Acoustics*. s.l. : Energy and Building, 2003.
- [49] Soares, Nelson Miguel Lopes. *RCCTE - Certificação Energética de Edifícios Residenciais Correntes*, Dissertação para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Coimbra Universidade de Coimbra, 2008.
- [50] Santos, Carlos Pina. *Evolução das Soluções de Paredes Face às Novas Exigências Regulamentares - Seminário Sobre Paredes de Alvenaria*. 2007.
- [51] Santos, Ana. *Comportamento Térmico e Acústico de Pré-Fabricados de Madeira*, Dissertação para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. s.l. : Universidade de Aveiro, 2008.

- [52] Santo, Fernando. *Edifícios - Visão Integrada de Projectos e Obras - Manual de Consulta das Diferentes Especialidades*. Lisboa : Ingenium Edições, LDª, 2002.
- [53] Ramos, Luis e Lourenço, Paulo B. *Análise das Técnicas de Construção Pombalina e Apreciação do Estado de Conservação Estrutural do Quarteirão do Martinho da Arcada*. Guimarães : Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, 2000.
- [54] Ramalheira, Francisco José Carvalho. *Manual de Boas Práticas de Escolha de Vãos Envidraçados - Exigências Funcionais de Vãos Envidraçados, Mestrado em Especialização de Construções de Edifícios*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [55] Patrício, Jorge. *Acústica dos Edifícios*. Lisboa : s.n., 2003.
- [56] Neves, I. Cabrita. *A Segurança Contra Incêndios em Edifícios - Visão Integrada*. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2004.
- [57] Gil, Luis. *A Cortiça Como Material de Construção, Manual Técnico*. s.l. : APCOR, Associação Portuguesa de Cortiça.
- [58] Ferreira, Ana Rafaela Penedones Caixeiro. *Comportamento Térmico dos Edifícios. Soluções Técnicas Para Isolamento Sonoro de Edifícios de Habitação, Dissertação Para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil*. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2007.
- [59] Dos Santos, Carlos Pina. *Evolução das Soluções de Paredes Face a Novas Exigências Regulamentares, Seminário Inovação E Possibilidades Actuais*. s.l. : Laboratório Nacional De Engenharia Civil, 2007.
- [60] De Mendonça, Paulo Jorge Figueira De Almeida Urbano. *Habitar Sob Uma Segunda Pele, Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados, Tese De Doutoramento*. Guimarães : Universidade Do Minho, 2005.
- [61] Da Cunha, Márcio Manuel Ferreira. *Vãos Envidraçados, Geometria de Insolação - Optimização do Dimensionamento de Elementos de Protecção Solar*. Porto : X Mestrado de Construções de Edifícios, Faculdade de Engenharia do Porto, 2005.

- [62] Cruz, Helena e Nunes, Lina. *A Madeira Como Material de Construção*. s.l. : Núcleo De Estruturas De Madeira, Laboratório Nacional De Engenharia Civil.
- [63] Cardos, Rafaela, Lopes, Mário e Bento, Rita. *Vulnerabilidade Sísmica de Edifícios Antigos de Alvenaria da Cidade de Lisboa*. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2003.
- [64] Cachim, Paulo. *Construções Em Madeira*. s.l. : Publindustria, 2007.
- [65] *WBDG - Whole Building Design Guide*. [Online]
<http://www.wbdg.org/resources/naturalventilation.php>, consultado em Junho de 2009.
- [66] *Vulcano*. [Online] <http://www.vulcano.pt/>, consultado em Fevereiro de 2009.
- [67] *Ventilnorte*. [Online]
http://www.ventilnorte.com/tabelas_de_precos/tabelas_vent.html, consultado em Abril de 2009.
- [68] *Utilização Racional da Energia*. [Online]
<http://ure.aream.pt/main.php/aream/ure.html>, consultado em Maio de 2009.
- [69] Seminário - Ambiente em Edifícios Urbanos. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2000.
- [70] *Repositorium*. [Online]
<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6800/1/Climated-LA.PDF>, consultado em Janeiro de 2009.
- [71] *pdf-serach-engine*. [Online] <http://www.pdf-search-engine.com>, consultado em Novembro de 2008.
- [72] Nicolau Lucas Duarte - *Janelas de Madeira*. [Online] <http://www.nld.pt/janelas/>, consultado em Abril de 2009.
- [73] *Navarraaluminio*. [Online]
<http://www.navarraaluminio.com/index.php?cat=8&item=181&catgrp=2000>, consultado em Abril de 2009.
- [74] *Natureza E Tecnologia*. s.l. : Amorim Isolamentos, 2009.
- [75] Lei Energética. *Revista Focus*. 29 de Outubro de 2008.

- [76] *IOXXI - Produtos inox*. [Online] <http://www.inoxxi.com/girandolasimples.htm>, consultado em Abril de 2009.
- [77] *House - Energy*. [Online] <http://www.house-energy.com/House/Ventilation.htm#Stack>, consultado em Abril de 2009.
- [78] *Forum RCCTE*. [Online] <http://forum.rccte.com/>, consultado em Abril de 2009.
- [79] *Eurocaixilho*. [Online] <http://www.eurocaixilho.pt>, consultado em Maio de 2009.
- [80] *Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos*. [Online] <http://www.erse.pt/vPt/Entrada/>, consultado em Novembro de 2008.
- [81] *Engenharia Civil*. [Online] <http://engenhariacivil.wordpress.com>, consultado em Novembro de 2008.
- [82] *Eficiência Energética*. [Online] <http://www.eficiencia-energetica.com>, consultado em Novembro de 2008.
- [83] *Ecoarkitekt*. [Online] <http://ecoarkitekt.com/eficiencia-energetica/vaos-envidracados/>, consultado em Abril de 2009.
- [84] *Dited*. [Online] <http://dited.bn.pt/jsp/user/search/titles.jsp>, consultado em Abril de 2009.
- [85] *Corporate Presentation*. s.l. : Amorim Cork Composites , 2009.
- [86] *Corkcomposites*. [Online] <http://www.corkcomposites.amorim.com>, consultado em Abril de 2009.
- [87] *Colt*. [Online] <http://www.colt-portugal.pt/produtos-e-sistemas/Arquitectura-e-assistencia-tecnica/Ventilacao-natural/>, consultado em Abril de 2009.
- [88] *Cismadera - Centro de Innovación e Servizos da Madeira*. [Online] <http://www.cismadera.com/castelan/formacion/curso.htm>, consultado em Fevereiro de 2009.
- [89] *Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior*. *Revista Indústria e Ambiente*. Setembro/Outubro de 2008.
- [90] *Cátologo de Energia Solar*. s.l. : Cirelius, 2009.

- [91] *Baixa Pombalina, Pedido de Inclusão na Lista Indicativa Nacional Para a Candidatura a Património Mundial*. s.l. : Câmara Municipal de Lisboa, 2004.
- [92] *Alaço - Revestimentos Metálicos*. [Online] <http://www.alaco.pt/pt/compostas.htm>, consultado em Abril de 2009.
- [93] *Baxiroca*. [Online] <http://www.baxicalefaccion.com/>, consultado em Julho de 2009.

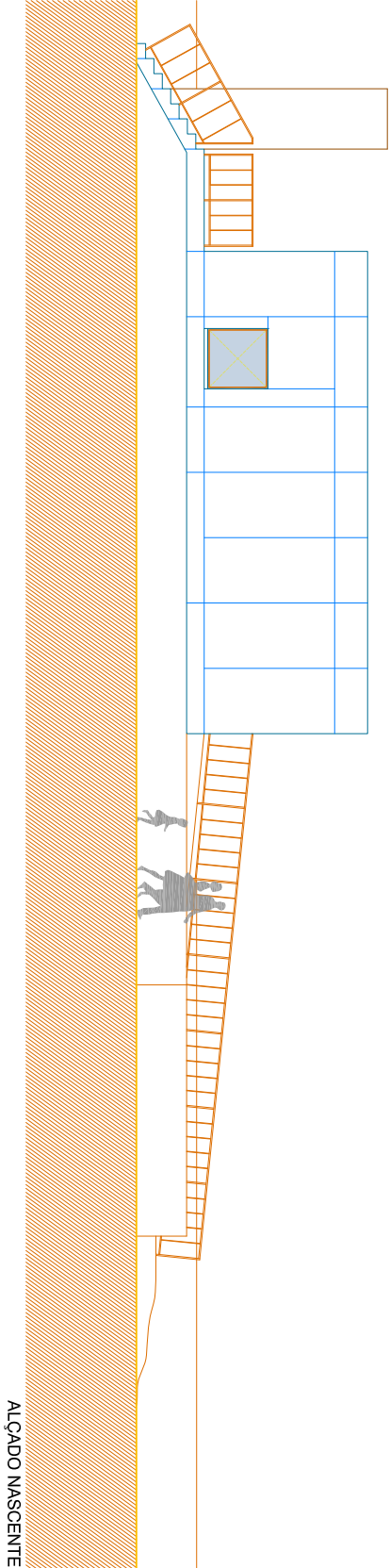
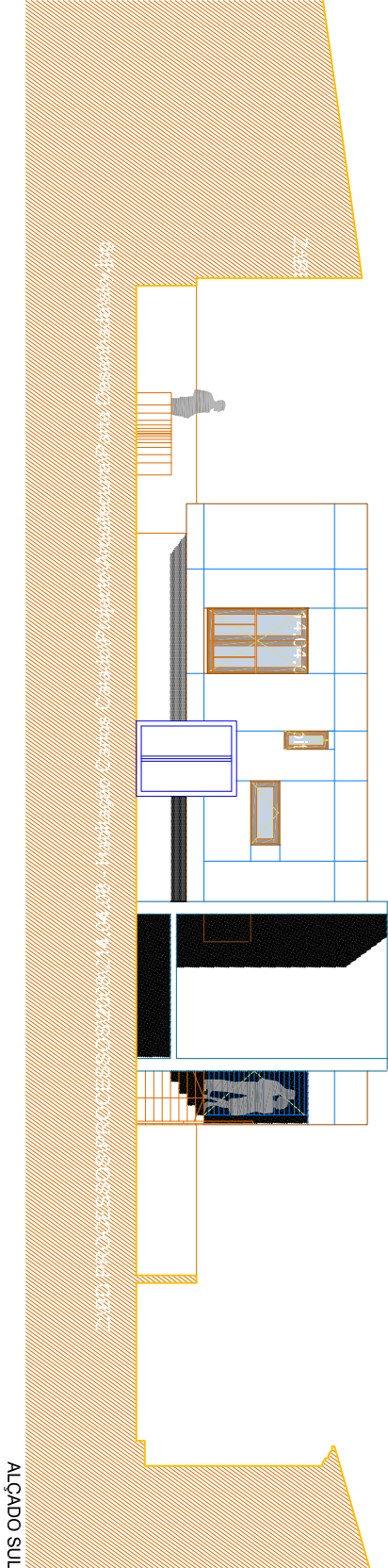
Anexo I

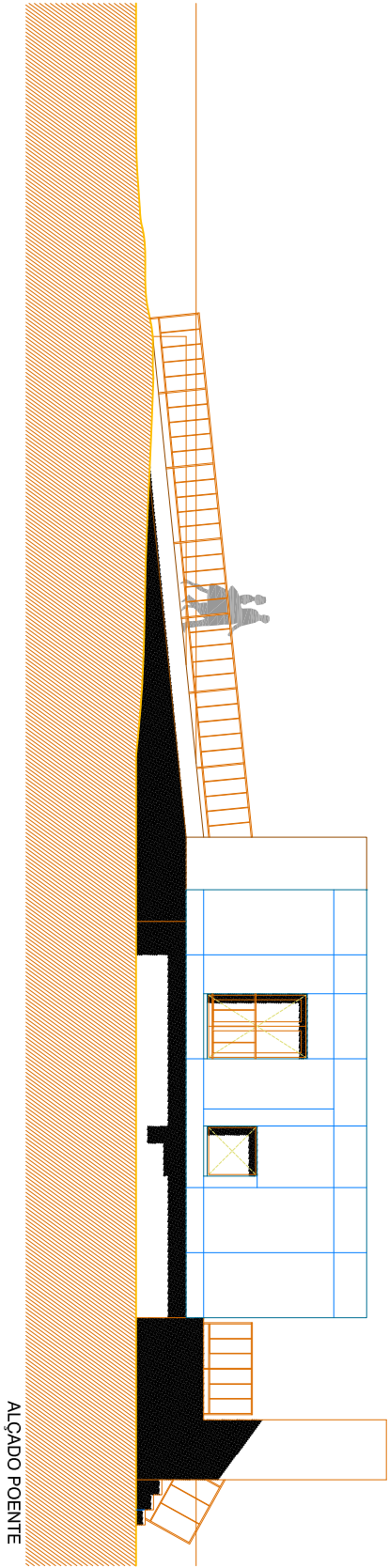
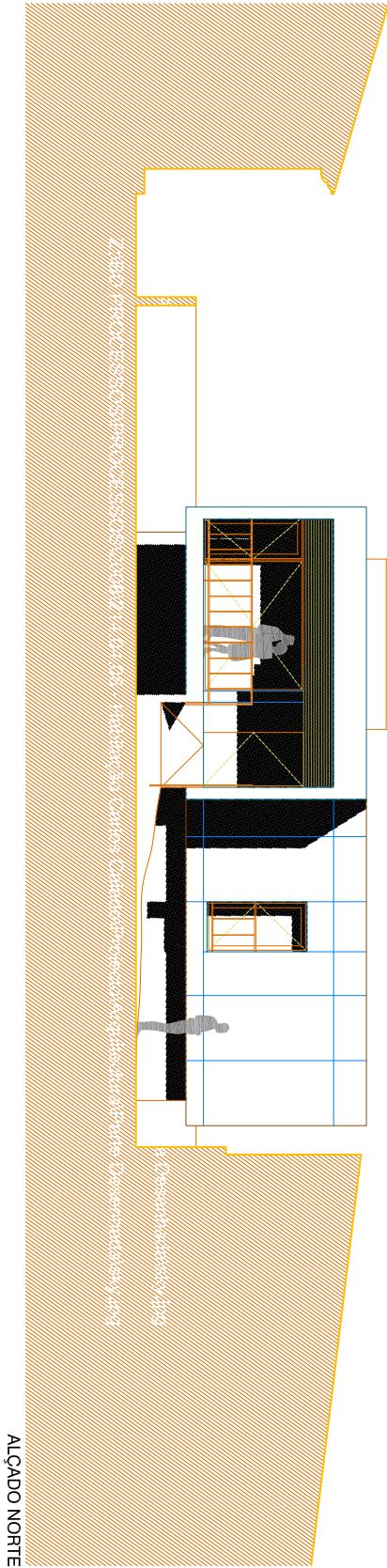
Apresentação da moradia unifamiliar

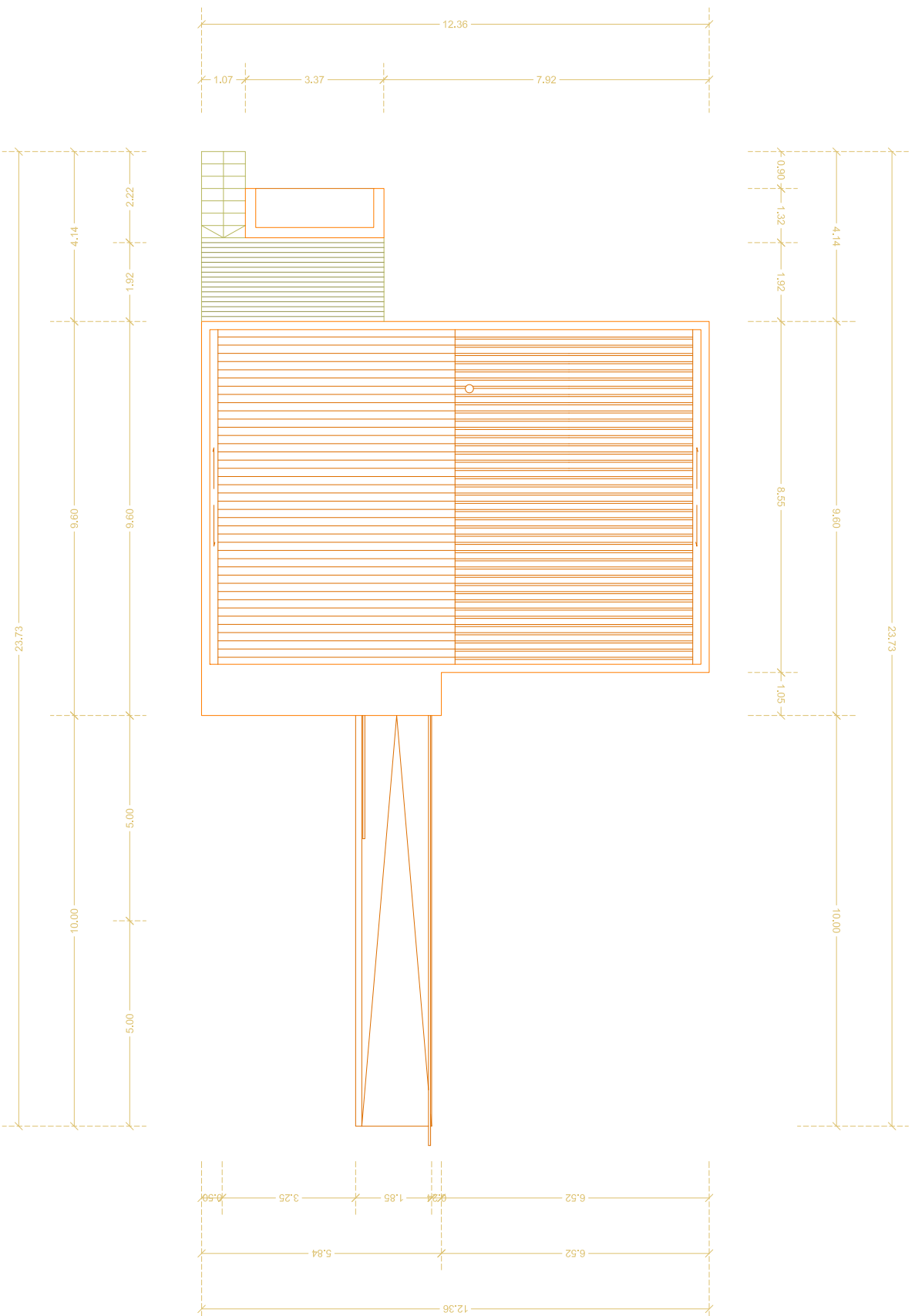
Anexo I – Apresentação da moradia unifamiliar

No presente anexo apresenta-se a moradia unifamiliar que serve de base de estudo.

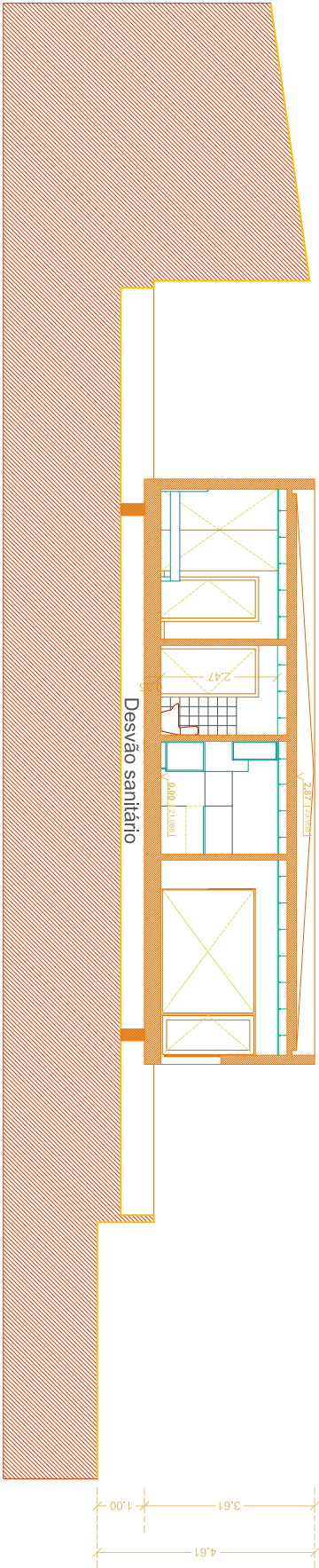
Para o efeito nele se inserem as seguintes peças: planta da moradia; alçados: Norte, Poente e Sul, Nascente; Planta cotada; planta da cobertura; cortes cotados: AA', BB', CC' e DD' e Planta de cobertura cotada.



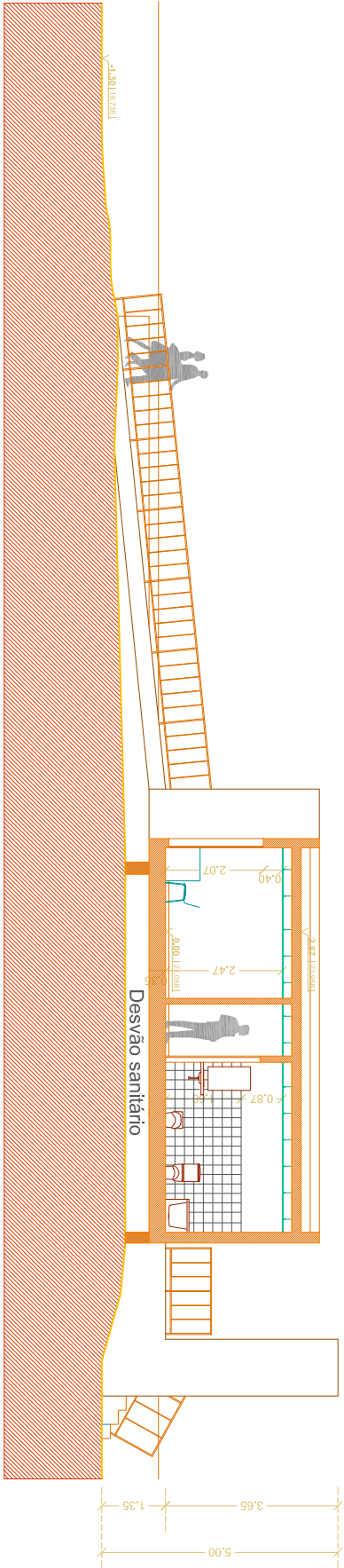




PLANTA DE COBERTURA COTADA

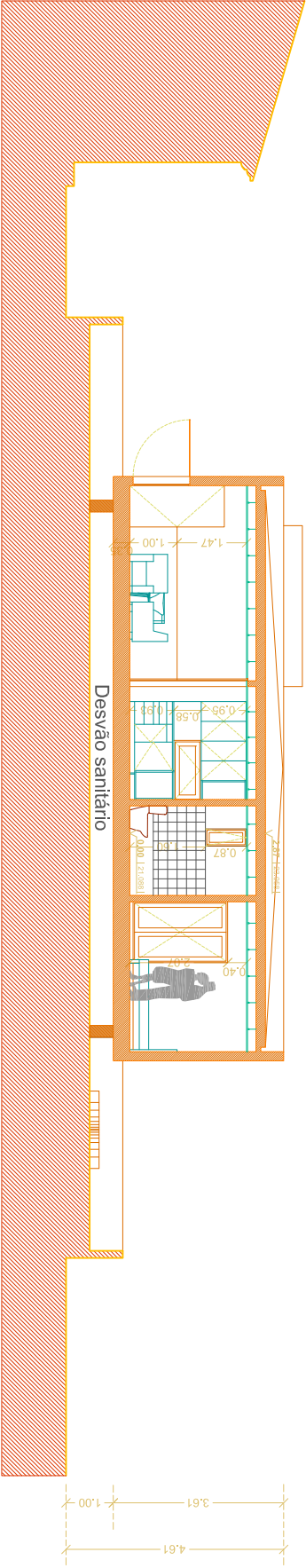


CORTE AA

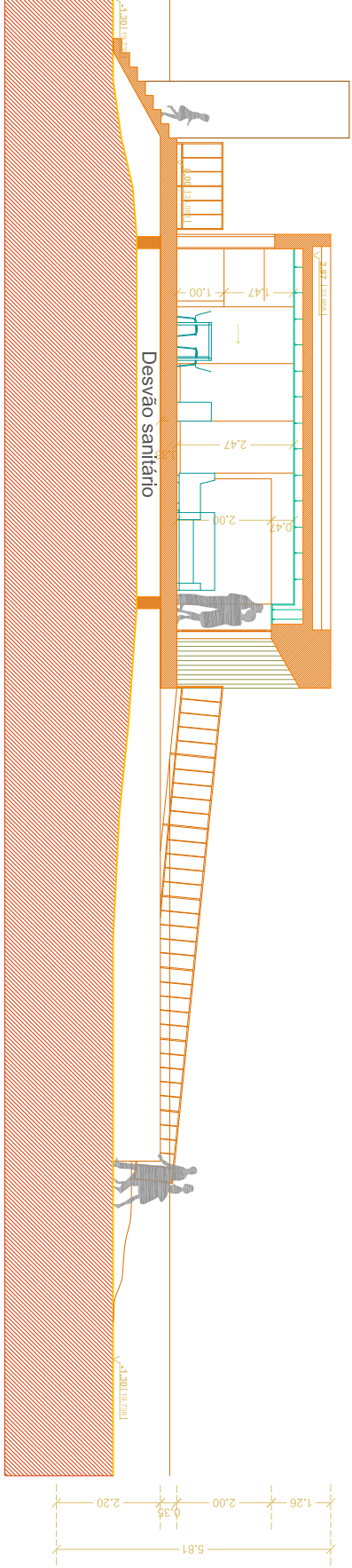


CORTE BB

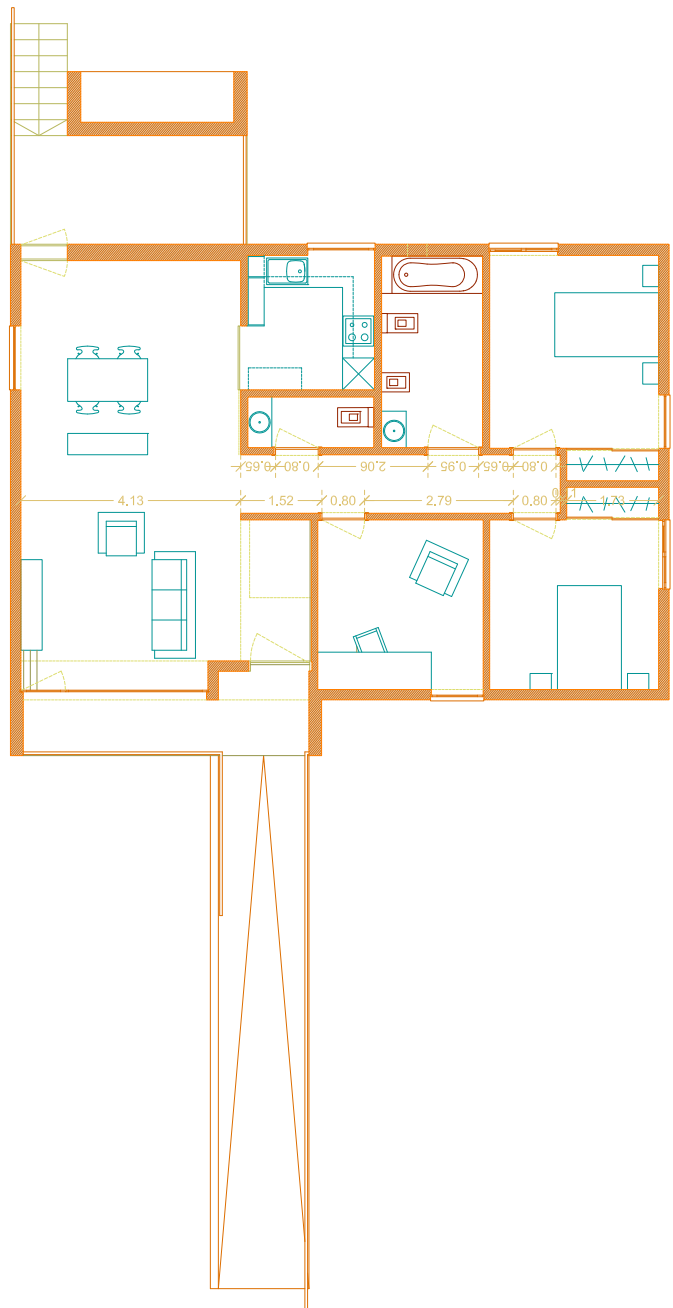
CORTES COTADOS



CORTE CC



CORTE DD



PLANTA COTADA

Anexo II
Cálculos

Anexo II – Cálculos

II.1 – Definição dos envidraçados

II.2 – Planta estrutural das soluções A, B e B2

II.3 – Planta estrutural da solução C (betão armado e alvenaria)

II.4 – Localização dos painéis solares

II.5 - Ventilação

II.6 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U)

II.7 – Cálculo dos factores solares da solução A e C

II.8 – Cálculo dos factores solares da solução B e B2

II.9 – Cálculo de pontes térmicas

II.10 – Cálculos do projecto de ventilação

II.11 – Inércia térmica solução A, B e B2

II.12 – Cálculo térmico

Solução A

Solução B

Solução B2

Solução C

II.13 - Relatórios energéticos

Anexo II – Cálculos

O anexo II é referente aos cálculos e procedimentos que serviram para desenvolver a presente dissertação.

II.1 – Definição dos envidraçados

No anexo II.1 encontra-se a planta da moradia em estudo e os envidraçados com a respectiva definição, seguindo-se esta ordem ao longo da dissertação.



Figura II.1 – Definição dos envidraçados

II.2 – Planta estrutural das soluções A, B e B2

O anexo II.2 é referente às plantas estruturais das soluções em madeira. As plantas estruturais que se seguem são do piso e das paredes, da cobertura não se considerou, visto que a sua estrutura não influencia o cálculo térmico.

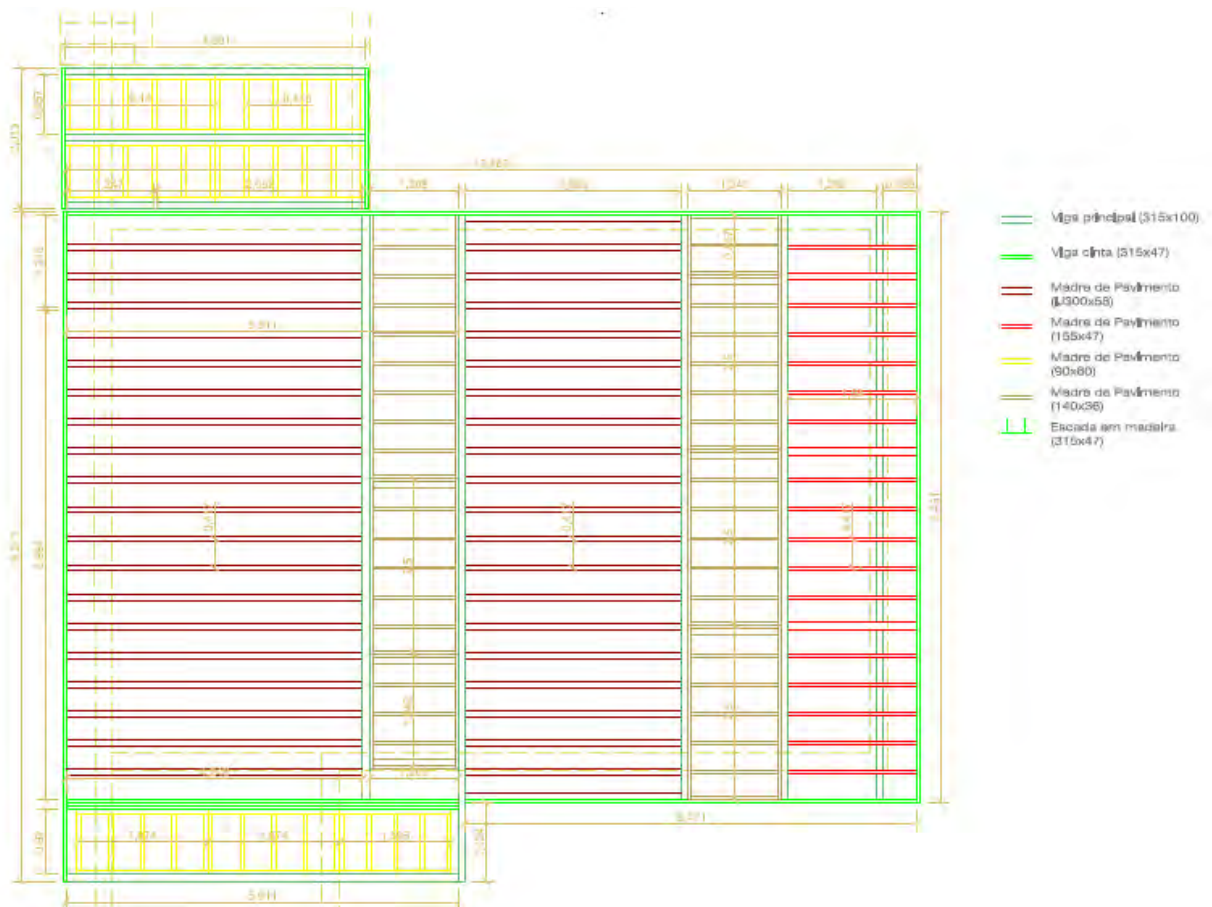


Figura II.2 – Planta estrutural do pavimento

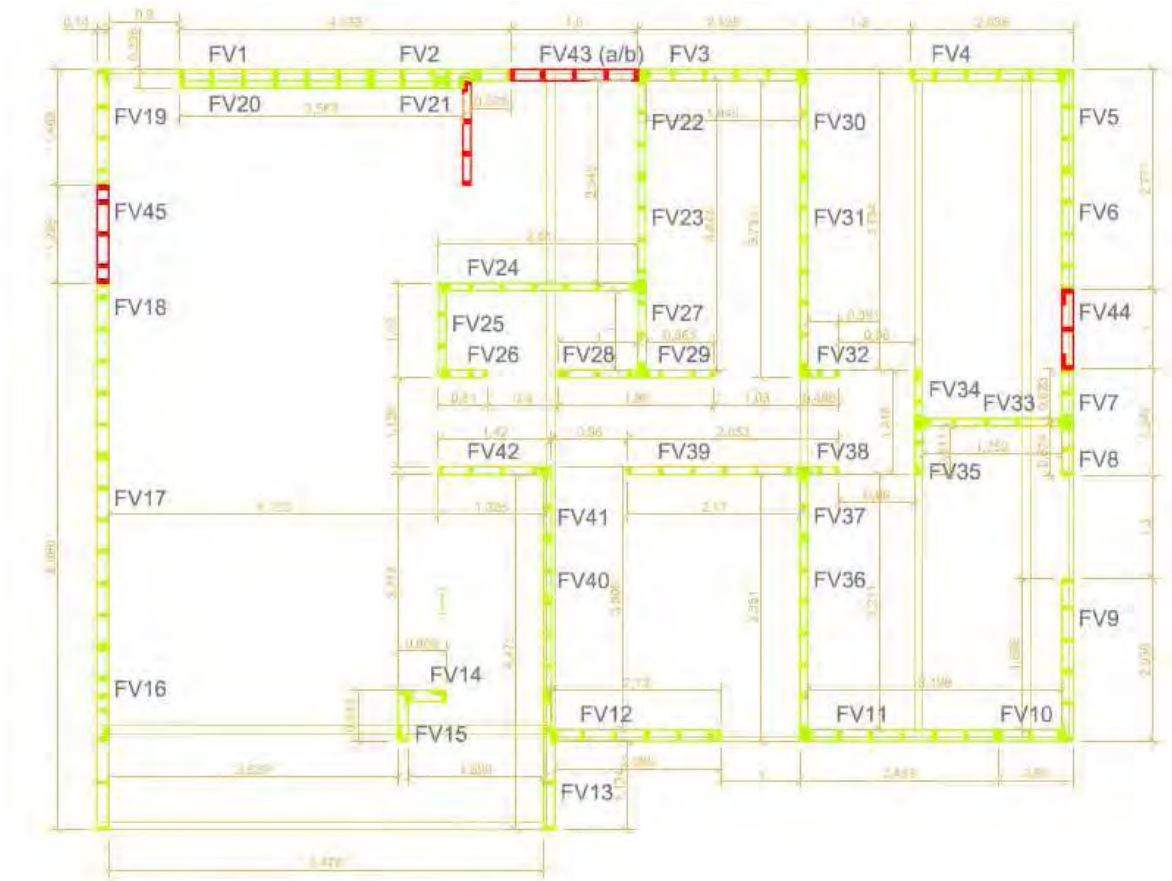


Figura II.3 – Planta estrutural dos prumos verticais

II.3 – Planta estrutural da solução C (betão armado e alvenaria)

Neste anexo encontra-se a planta estrutural da solução C, em que se encontram representados os pilares, vigas e lajes.

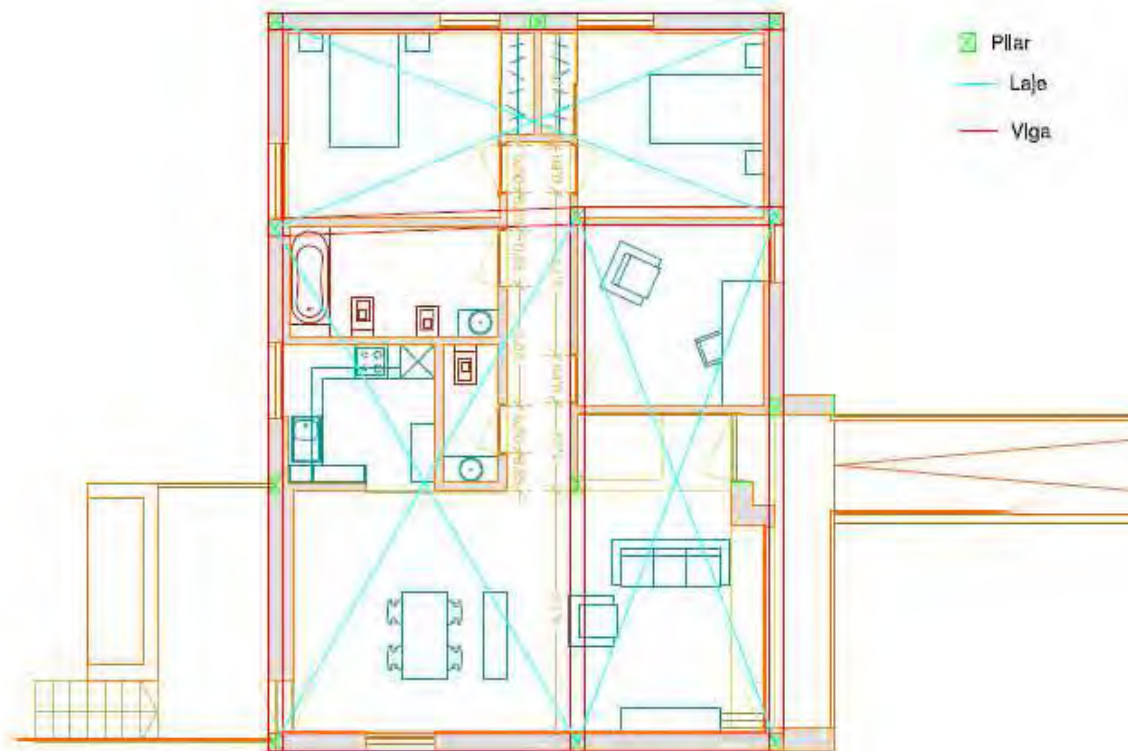


Figura II.4 – Planta estrutural da solução C

II.4 – Localização dos painéis solares

Na planta da cobertura seguinte está representado o local dos painéis solares.

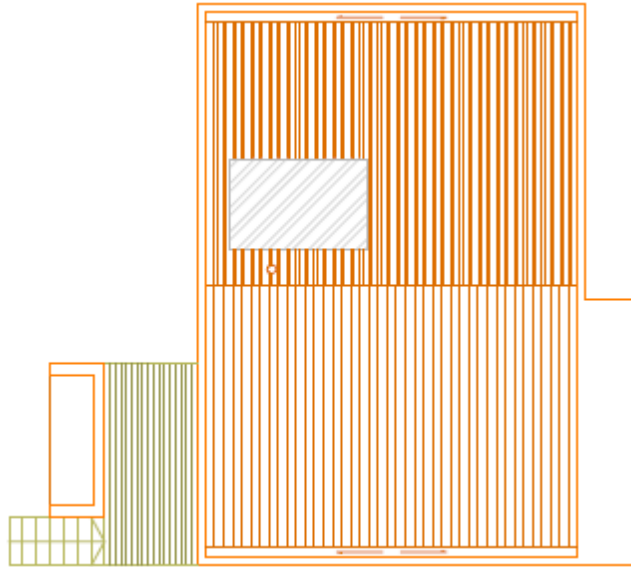


Figura II.5 – Localização dos painéis solares

II.5 - Ventilação

O presente anexo destina-se às peças desenhadas do projecto de ventilação, pode ver-se o local das aberturas, para entrada e saída de ar e o sítio das condutas.

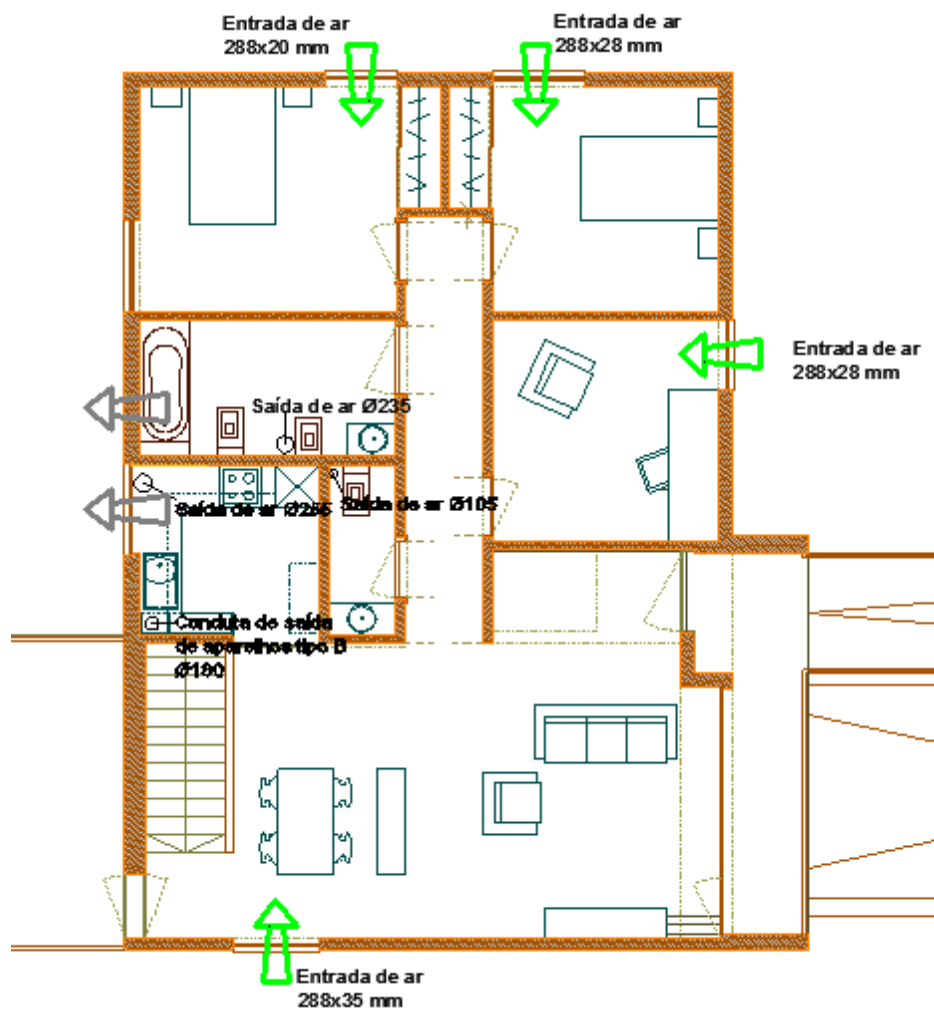


Figura II.6 – Projecto de ventilação

II.6 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U)

Nos seguintes documentos encontra-se os procedimentos para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos vários elementos das várias soluções.

Quadro II.1 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da zona corrente das paredes da solução A

Elemento: Paredes exteriores solução A				
Constituição	dj (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m²/W.°C)	Referências
Painel de OSB3	0,012	0,13	0,09	ITE 50
Isolamento térmico Lã de rocha	0,06	0,04	1,50	ITE 50
Caixa-de-ar	-	-	0,13	ITE 50
Placas de gesso cartonado	0,01	0,30	0,04	ITE 50
Rsi			0,13	ITE 50
Rse			0,04	ITE 50
Rsi+∑Rj+Rsi=			1,94	
U=			0,52	W/m²°C
Umax=			1,8	W/m2°C
Verifica				

Quadro II.2 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da zona de ponte térmica das paredes da solução A (posição 2)

Elemento: Paredes exteriores zona de ponte térmica plana da solução A				
Constituição	dj (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m²/W.°C)	Referências
Painel de OSB3	0,01	0,13	0,09	ITE 50
Frame vertical	0,14	0,18	0,78	ITE 50
Placas de gesso cartonado	0,01	0,30	0,04	ITE 50
Rsi			0,13	ITE 50
Rse			0,04	ITE 50
Rsi+∑Rj+Rsi=			1,08	
U=			0,92	W/m²°C
Umax=			1,8	
Verificações	U<Umax		Verifica	
	U≤2*Uzona corrente		Verifica	

Quadro II.3 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da zona de ponte térmica das paredes da solução A (posição 2)

Elemento: Paredes exteriores zona de ponte térmica da solução A (posição 2)				
Constituição	dj (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m²/W.°C)	Referências
Painel de OSB3	0,01	0,13	0,09	ITE 50
Frame vertical	0,14	0,18	0,78	ITE 50
Caixa-de-ar	-	-	0,13	ITE 50
Placas de gesso cartonado	0,01	0,30	0,04	ITE 50
Rsi			0,13	ITE 50
Rse			0,04	ITE 50
Rsi+ \sum Rj+Rsi=			1,21	
U=			0,82	W/m²°C
Umax=			1,8	
Verificações	U<Umax		Verifica	
	U≤2*Uzona corrente		Verifica	

Quadro II.4 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da zona corrente das paredes da solução B e B2

Elemento: Paredes exteriores solução B e B2				
Constituição	dj (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m²/W.°C)	Referências
Painel de OSB3	0,01	0,13	0,09	ITE 50
Isolamento térmico Lã de rocha	0,08	0,04	2,00	ITE 50
Caixa-de-ar	-	-	0,13	ITE 50
Placas de gesso cartonado	0,01	0,30	0,04	ITE 50
Rsi			0,13	ITE 50
Rse			0,04	ITE 50
Rsi+ \sum Rj+Rsi=			2,44	
U=			0,41	W/m²°C
Umax=			1,45	W/m²°C
				Verifica

Quadro II.5 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da zona de ponte térmica da solução B e B2 (posição 1)

Elemento: Paredes exteriores zona de ponte térmica da solução B (posição 1)				
Constituição	dj (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m²/W.°C)	Referências
Painel de OSB3	0,01	0,13	0,09	ITE50
Isolamento térmico de aglomerado negro de cortiça	0,03	0,04	0,75	ITE50
Frame vertical	0,14	0,18	0,78	ITE50
Placas de gesso	0,01	0,30	0,04	ITE50
Rsi			0,13	ITE50
Rse			0,04	ITE50
Rsi+ \sum Rj+Rsi=			1,83	
U=			0,55	W/m²°C
Umax=			1,8	
Verificações	U≤Umax		Verifica	
	U≤2*Uzona corrente		Verifica	

Quadro II.6 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da zona de ponte térmica das paredes da solução B e B2 (posição 2)

Elemento: Paredes exteriores zona de PTP solução B e B2 (posição 2)				
Constituição	dj (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m²/W.°C)	Referências
Painel de OSB3	0,01	0,13	0,09	ITE50
Isolamento térmico de aglomerado negro de cortiça	0,03	0,04	0,75	ITE50
Frame vertical	0,04	0,18	0,20	ITE50
Caixa de ar	-	-	0,13	ITE50
Placas de gesso	0,01	0,30	0,04	ITE50
Rsi			0,13	ITE50
Rse			0,04	ITE50
Rsi+ \sum Rj+Rsi=			1,39	
U=			0,72	W/m²°C
Umax=			1,8	
Verificações	U≤Umax		Verifica	
	U≤2*Uzona corrente		Verifica	

Quadro II.7 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura das soluções A, B e B2

Elemento: Cobertura				
Constituição	dj (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m²/W.°C)	Referências
Placas de gesso cartonado	0,01	0,30	0,04	ITE 50
Isolamento térmico Lã de rocha/painel de cortiça	0,04	0,04	1,00	ITE 50
Caixa-de-ar	-	-	0,18	ITE 50
Painel de OSB3	0,01	0,13	0,09	ITE 50
Rsi			0,10	ITE 50
Rsi			0,10	ITE 50
Rsi+ \sum Rj+Rsi=			1,52	
U=			0,66	W/m²°C
Umax=			1,25	W/m²°C
				Verifica

Quadro II.8 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento sobre desvão das soluções A, B e B2

Elemento: Pavimento sob desvão sanitário				
Constituição	dj (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m²/W.°C)	Referências
Painel de OSB3	0,01	0,13	0,09	ITE 50
Isolamento térmico Lã de rocha	0,06	0,04	1,50	ITE 50
Caixa-de-ar	-	-	0,18	ITE 50
Painel de OSB3	0,01	0,13	0,09	ITE 50
Pavimento flutuante	0,01	0,23	0,06	ITE 50
Rsi			0,17	ITE 50
Rsi			0,17	ITE 50
Rsi+ \sum Rj+Rsi=			2,21	
U=			0,45	W/m²°C
Umax=			1,25	W/m²°C
				Verifica

Quadro II.9 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento na zona estrutural do pavimento

Elemento: Pavimento zona de ponte térmica plana				
Constituição	dj (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m²/W.°C)	Referências
Painel de OSB3	0,01	0,13	0,09	ITE 50
Viga	0,08	0,18	0,44	ITE 50
Caixa-de-ar	-	-	0,18	ITE 50
Painel de OSB3	0,01	0,13	0,09	ITE 50
Pavimento flutuante	0,01	0,23	0,06	ITE 50
Rsi			0,17	ITE 50
Rsi			0,17	ITE 50
Rsi+ \sum Rj+Rsi=			1,16	
U=			0,87	W/m²°C
Umax=			1,25	W/m²°C
				Verifica

Quadro II.10 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento em contacto com o exterior

Elemento: Pavimento em contacto com o exterior				
Constituição	dj (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m²/W.°C)	Referências
Painel de OSB3	0,01	0,13	0,09	ITE 50
Isolamento térmico Lã de rocha	0,06	0,04	1,50	ITE 50
Caixa-de-ar	-	-	0,18	ITE 50
Painel de OSB3	0,01	0,13	0,09	ITE 50
Pavimento flutuante	0,01	0,23	0,06	ITE 50
Rsi			0,17	ITE 50
Rse			0,04	ITE 50
Rsi+ \sum Rj+Rsi=			2,08	
U=			0,48	W/m²°C
Umax=			1,25	W/m²°C
				Verifica

Quadro II.11 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento

Área de pavimento sobre desvão sanitário (m²)	63,80
Área de pavimento zona estrutural (m²)	26,95
Utotal (W/m²°C)	0,57
Área de pavimento em contacto com o exterior (m²)	9,63
Área de pavimento zona estrutural (m²)	2,57
Utotal (W/m²°C)	0,56

Quadro II.12 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos elementos da solução C

Elemento: Parede, pavimentos e cobertura da solução C		
	U (W/m ² °C)	Referências
Paredes exteriores	0,47	ITE 50 Pag II.21
Pavimento sob desvão sanitário	0,52	ITE 50 Pag II.37
Pavimento em contacto com o exterior	0,56	ITE 50 Pag II.37
Cobertura	0,56	ITE 50 Pag II.61

Quadro II.13 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados da solução A e C

Envidraçados da Solução A e C	U (W/m ² °C)	Referências
Envidraçado 1 - Norte	2,91	Windows Knowledge base 5.2
Envidraçado 2 - Norte	2,91	Windows Knowledge base 5.2
Envidraçado 3 - Norte	2,91	Windows Knowledge base 5.2
Envidraçado 4 - Oeste	2,91	Windows Knowledge base 5.2
Envidraçado 6 - Oeste	2,91	Windows Knowledge base 5.2
Envidraçado 6 - Sul	2,91	Windows Knowledge base 5.2
Envidraçado 7 - Sul	2,91	Windows Knowledge base 5.2
Envidraçado 8 - Sul	2,91	Windows Knowledge base 5.2
Envidraçado 9 - Este	2,91	Windows Knowledge base 5.2

De seguida encontram-se as figuras do programa Windows Knowledge base 5.2.

The screenshot displays the Windows Knowledge base 5.2 software interface. On the left is a vertical toolbar with buttons: List, Calc (F9), New, Copy, Delete, Save, Report, Dividers, and Dividers. Below these is a 'Display mode:' dropdown set to 'Normal'. The main area is divided into several sections:

- Top Left:** A form for window properties. ID # is 1. Name is 'Picture'. Mode is 'Design'. Type is 'Custom Single Visi'. Width is 1000 mm. Height is 2000 mm. Area is 2.000 m2. Tilt is 90. Environmental Conditions is 'CEN'.
- Top Right:** A 3D perspective view of a window frame with a glass pane.
- Bottom Left:** 'Total Window Results' section showing: U-factor 4.306 W/m2-K, SHGC 0.753, VT 0.673, and CR N/A. Each value has a 'Detail...' button next to it.
- Bottom Right:** A section titled 'Click on a component to display characteristics below'. It contains a 'Glazing System' dropdown set to 'Double Clear Air'. Below this are fields for: ID 2, Ucenter 2.913 W/m2-K, Nlayers 2, SC 0.873, Area 1.334 m2, SHGC 0.759, Edge area 0.336 m2, and Vtc 0.806.

Figura II.7 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 1 – Norte

This screenshot is identical to the one in Figure II.7, showing the same software interface with the same data values for the window calculation.

Figura II.8 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 2 – Norte

List

Calc (F9)

New

Copy

Delete

Save

Report

Dividers

Dividers

Display mode:

Normal

ID #

1

Name

Picture

Mode

Design

Type

Double Door

>>

Width

2000 mm

Height

2000 mm

Area

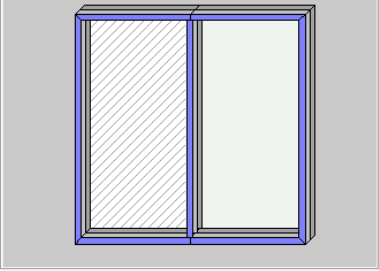
4.000 m2

Tilt

90

Environmental Conditions

CEN



Total Window Results

U-factor

4.095 W/m2.K

SHGC

0.754

Detail...

VT

0.695

Detail...

CR

N/A

Detail...

Click on a component to display characteristics below

Glazing System

Name

Double Clear Air

>>

ID

2

Ucenter

2.913 W/m2.K

Nlayers

2

SC

0.873

Area

1.385 m2

SHGC

0.759

Edge area

0.339 m2

Vtc

0.806

Figura II.9 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 3 – Norte

List

Calc (F9)

New

Copy

Delete

Save

Report

Dividers

Dividers

Display mode:

Normal

ID #

1

Name

Picture

Mode

Design

Type

Custom Single Visi

>>

Width

2000 mm

Height

2000 mm

Area

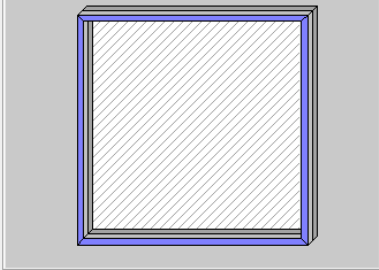
4.000 m2

Tilt

90

Environmental Conditions

CEN



Total Window Results

U-factor

3.853 W/m2.K

SHGC

0.755

Detail...

VT

0.717

Detail...

CR

N/A

Detail...

Click on a component to display characteristics below

Glazing System

Name

Double Clear Air

>>

ID

2

Ucenter

2.913 W/m2.K

Nlayers

2

SC

0.873

Area

3.093 m2

SHGC

0.759

Edge area

0.463 m2

Vtc

0.806

Figura II.10 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 4 – Oeste e 6 - Sul

148

List
 Calc (F9)
 New
 Copy
 Delete
 Save
 Report
 Dividers
 Dividers
 Display mode:
 Normal

ID # 1
 Name Picture
 Mode Design
 Type Custom Single Visi >>
 Width 2000 mm
 Height 2000 mm
 Area 4.000 m2
 Tilt 90
 Environmental Conditions CEN

Total Window Results
 U-factor 3.853 W/m2K
 SHGC 0.755
 VT 0.717
 CR N/A

Click on a component to display characteristics below
 Glazing System
 Name Double Clear Air >>
 ID 2 Ucenter 2.913 W/m2K
 Nlayers 2 SC 0.873
 Area 3.093 m2 SHGC 0.759
 Edge area 0.463 m2 Vtc 0.806

Figura II.11 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 5 – Oeste

List
 Calc (F9)
 New
 Copy
 Delete
 Save
 Report
 Dividers
 Dividers
 Display mode:
 Normal

ID # 1
 Name Picture
 Mode Design
 Type Custom Single Visi >>
 Width 2000 mm
 Height 2000 mm
 Area 4.000 m2
 Tilt 90
 Environmental Conditions CEN

Total Window Results
 U-factor 3.853 W/m2K
 SHGC 0.755
 VT 0.717
 CR N/A

Click on a component to display characteristics below
 Glazing System
 Name Double Clear Air >>
 ID 2 Ucenter 2.913 W/m2K
 Nlayers 2 SC 0.873
 Area 3.093 m2 SHGC 0.759
 Edge area 0.463 m2 Vtc 0.806

Figura II.12 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 7 – Sul

List

Calc (F9)

New

Copy

Delete

Save

Report

Dividers

Dividers

Display mode:

Normal

ID #1

NamePicture

ModeDesign

TypeCustom Single Visi>>

Width2000 mm

Height2000 mm

Area4,000 m2

Tilt90

Environmental ConditionsCEN

Total Window Results

U-factor3.853 W/m2.K

SHGC0.755

VT0.717

CRN/A

Detail...

Detail...

Click on a component to display characteristics below

Glazing System

NameDouble Clear Air>>

ID2

Ucenter2.913 W/m2.K

Nlayers2

SC0.873

Area3.093 m2

SHGC0.759

Edge area0.463 m2

Vtc0.806

Figura II.13 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 8 – Sul

List

Calc (F9)

New

Copy

Delete

Save

Report

Dividers

Dividers

Display mode:

Normal

ID #1

NamePicture

ModeDesign

TypeDoor>>

Width1000 mm

Height2000 mm

Area2,000 m2

Tilt90

Environmental ConditionsCEN

Total Window Results

U-factor4.306 W/m2.K

SHGC0.753

VT0.673

CRN/A

Detail...

Detail...

Click on a component to display characteristics below

Glazing System

NameDouble Clear Air>>

ID2

Ucenter2.913 W/m2.K

Nlayers2

SC0.873

Area1.334 m2

SHGC0.759

Edge area0.336 m2

Vtc0.806

Figura II.14 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado 8 – Oeste

Quadro II.14 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados da solução B e B2

Envidraçados da Solução B/B2	U (W/m ² °C)	Referências
Envidraçado 1 - Norte	2,91	ITE 50
Envidraçado 2 - Norte	2,91	ITE 50
Envidraçado 3 - Norte	2,91	ITE 50
Envidraçado 4 - Oeste	2,91	ITE 50
Envidraçado 6 - Oeste	2,91	ITE 50
Envidraçado 6 - Sul	2,91	ITE 50
Envidraçado 7 - Sul	2,91	ITE 50
Envidraçado 8 - Sul	2,91	ITE 50
Envidraçado 9 - Este	2,91	ITE 50

II.7 – Cálculo dos factores solares da solução A e C

No presente anexo inclui-se o cálculo dos factores solares de cada envidraçado e o produto $F_h F_o F_f$.

Quadro II.15 – Cálculo do factor solar dos vãos envidraçados da solução A e C

Envidraçado	$g_{\perp v}$	$g_{\perp 100\%}$	g_{\perp}
E1 - Norte	0,63	0,04	0,22
E2 - Norte	0,63	0,04	0,22
E3 - Norte	0,63	0,04	0,22
E4 - Oeste	0,63	0,04	0,22
E5 - Oeste	0,63	0,04	0,22
E6 - Sul	0,63	0,04	0,22
E7 - Sul	0,63	0,04	0,22
E8 - Sul	0,63	0,04	0,22
E9 - Este	0,63	0,03	0,21

Quadro II.16 – Cálculo do factor de sombreamento dos vãos envidraçados da solução A e C

Envidraçado	F_h		F_0		F_f		$F_h \cdot F_0 \cdot F_f$	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
E1 - Norte	1,00		1,00	0,97	1,00	1,00	0,90	0,97
E2 - Norte	1,00		1,00	0,97	1,00	1,00	0,90	0,97
E3 - Norte	1,00		1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00
E4 - Oeste	1,00		1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00
E5 - Oeste	1,00		1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00
E6 – Sul	1,00		1,00	1,00	0,92	0,90	0,90	0,90
E7 – Sul	1,00		1,00	1,00	0,88	0,87	0,88	0,87
E8 – Sul	1,00		1,00	1,00	0,83	0,84	0,83	0,84
E9 – Este	1,00		1,00	0,64	1,00	1,00	0,90	0,64

II.8 – Cálculo dos factores solares da solução B e B2

No presente anexo inclui-se o cálculo dos factores solares de cada envidraçado, o produto $F_h F_0 F_f$ e o ângulo produzido pela pala devida aos estores.

Quadro II.17 – Cálculo do factor solar dos vãos envidraçados da solução B e B2

Envidraçado	$g_{\perp v}$	$g_{\perp 100\%}$	g_{\perp}
E1 - Norte	0,63	0,08	0,245
E2 - Norte	0,63	0,08	0,245
E3 - Norte	0,63	0,08	0,245
E4 - Oeste	0,63	0,08	0,245
E5 - Oeste	0,63	0,08	0,245
E6 - Sul	0,63	0,08	0,245
E7 - Sul	0,63	0,08	0,245
E8 - Sul	0,63	0,08	0,245
E9 - Este	0,63	0,03	0,210

Quadro II.18 – Cálculo do factor de sombreamento das soluções B e B2

Envidraçado	F_h		F_0		F_f		$F_h \cdot F_0 \cdot F_f$	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
E1 – Norte	1,00		1,00	0,95	1,00	1,00	0,90	0,95
E2 – Norte	1,00		1,00	0,95	1,00	1,00	0,90	0,95
E3 – Norte	1,00		1,00	0,95	1,00	1,00	0,90	0,95
E4 – Oeste	1,00		1,00	0,59	1,00	1,00	0,90	0,59
E5 – Oeste	1,00		1,00	0,57	1,00	1,00	0,90	0,57
E6 – Sul	1,00		1,00	0,53	0,92	0,90	0,90	0,48
E7 – Sul	1,00		1,00	0,55	0,88	0,87	0,88	0,48
E8 – Sul	1,00		1,00	0,63	0,83	0,84	0,83	0,53
E9 – Este	1,00		1,00	0,64	1,00	1,00	0,90	0,64

Quadro II.19 – Cálculo do ângulo da pala proporcionado pelos estores adoptados para a solução B e B2

Envidraçado	Ângulo da pala
E1 - Norte	53
E2 - Norte	53
E3 - Norte	53
E4 - Oeste	53
E5 - Oeste	57
E6 - Sul	53
E7 - Sul	46
E8 - Sul	31

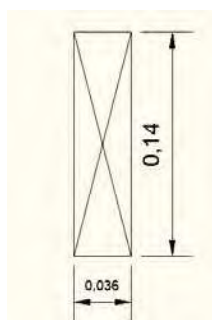
II.9 – Cálculo de pontes térmicas

O conteúdo deste anexo refere-se ao cálculo do valor das pontes térmicas. Algumas pontes térmicas, como por exemplo fachada com varanda, são iguais para todas as soluções.

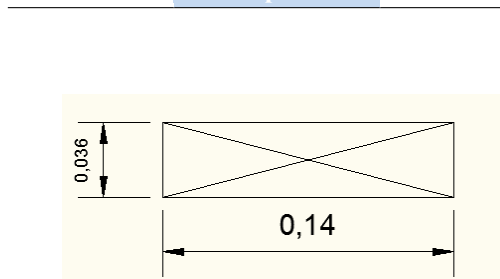
Quadro II.20 – Cálculo das áreas de prumos verticais da solução A, B e B2

Tipo de posicionamento	
Tipo 1	Tipo 2
0,036	0,140

Tipo 1



Tipo 2



Área a Norte	Área a Sul	Área a Este	Área a Oeste	Total
2,73	3,04	2,05	2,09	9,90
27,54%	30,69%	20,70%	21,08%	100,00%

Quadro II.21 – Cálculo da área de ponte térmica dos prumos verticais

Orientação	Tipos de frames	Comprimento (m)	Altura (m)	Nº de elementos	Tipo 1	Tipo 2	Área PTP (m²)
Norte	FV10	0,94	2,47	2	2	0	0,18
	FV11	2,40	2,47	7	7	0	0,62
	FV12	2,09	2,47	6	6	0	0,53
	FV14	0,61	2,47	3	2	1	0,52
	FV15	0,63	2,47	4	2	2	0,87
Sul	FV1	2,40	2,47	7	7	0	0,62
	FV2	1,76	2,47	9	7	2	1,31
	FV3	1,95	1,96	6	6	0	0,42
	FV4	1,90	2,47	5	5	0	0,44
	FV43 a	1,60	0,46	5	5	0	0,08
	FV43 b	1,60	0,84	5	5	0	0,15
Este	FV5	1,27	2,47	3	3	0	0,27
	FV6	1,50	2,47	5	5	0	0,44
	FV7	0,62	2,47	3	3	0	0,27
	FV8	0,62	2,47	3	3	0	0,27
	FV9	2,04	2,47	5	5	0	0,44
	FV44	1,00	0,93	5	3	2	0,36
Oeste	FV16	2,30	2,47	4	4	0	0,36
	FV17	2,40	2,47	7	7	0	0,62
	FV18	2,18	2,47	7	7	0	0,62
	FV19	1,46	2,47	4	4	0	0,36
	FV45	1,23	0,73	5	5	0	0,13

Quadro II.22 – Cálculo da ponte térmica relativa a duas paredes verticais

Duas paredes verticais			
Altrura	PTL (m)	Nº de PTL's	Total (m)
2,47	2,47	6	14,82

Quadro II.23 – Cálculo da área dos elementos estruturais da laje de pavimento em contacto com o desvão sanitário

Área dos elementos horizontais do pavimento sobre desvão					
	Secção (mm)		Comprimento total (m)	Nº de elementos	Área a considerar no cálculo de U do pavimento 1
	h	b			
Viga cinta	315	47	11,43	1	0,54
Madre de Pavimento	140	36	2,61	54	5,08
	155	47	1,25	22	1,29
	300	58	6,92	40	16,05
Viga principal	315	100	7,99	5	4,00
Total					26,95

Quadro II.24 – Cálculo da área dos elementos estruturais da laje de pavimento em contacto com o exterior

Área dos elementos horizontais do pavimento com o exterior					
	Secção (mm)		Comprimento total (m)	Nº de elementos	Área a considerar no cálculo de U do pavimento 3
	h	b			
Viga cinta	315	47	29,84	1	1,40
Madre de Pavimento	140	36	0,00	0	0,00
	155	47	0,49	22	0,50
	300	58	0,41	19	0,45
Viga principal	315	100	0,41	5	0,21
Total					2,57

Quadro II.25 – Ponte térmica equivalente a fachada com varanda

Fachada com varanda		
Lados	Comprimento (m)	Total (m)
Norte	11,35	27,45
Oeste	8,05	
Este	8,05	

Quadro II.26 – Ponte térmica ligação da fachada com a caixa de estore

Fachada com caixa de estore					
	Vãos	Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)	PTL (m)
Norte	Envidraçados 1	2,66	2,00	5,32	5,7
	Envidraçados 2	0,85	2,00	1,70	2,08
				Total	7,78

Quadro II.27 – Ponte térmica ligação da fachada com a padieira, ombreira ou peitoril

Fachada com padieira, ombreira ou peitoril					
	Vãos	Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)	PTL (m)
Norte	Envidraçados 1	2,66	2,00	5,32	5,70
	Envidraçados 2	0,85	2,00	1,70	2,08
	Envidraçados 3	1,00	2,00	2,00	2,38
Este	Envidraçados 4	1,30	2,00	2,60	2,98
	Envidraçados 5	1,00	1,00	1,00	2,38
Sul	Envidraçados 6	1,30	2,00	2,60	2,98
	Envidraçados 7	0,36	0,87	0,32	1,11
	Envidraçados 8	0,58	1,28	0,74	1,54
Oeste	Envidraçados 9	1,20	1,20	1,44	2,78
				Total	23,93

Quadro II.28 – Ponte térmica ligação da fachada com a soleira

Fachada com soleira			
	Vãos	Largura (m)	PTL (m)
Norte	Envidraçados 1	2,66	2,66
	Envidraçados 2	0,85	0,85
	Porta 1	1,11	1,11
Sul	Porta 2	0,80	0,80
		Total	5,42

II.10 – Cálculos do projecto de ventilação

No presente anexo inserem-se os cálculos para o projecto de ventilação natural.

Quadro II.29 – Cálculo dos elementos do projecto de ventilação

Comp. Principais	volume	Nº de renovações	Caudal
Sala	83,16	1,00	83,16
Quarto 1	28,78	1,00	28,78
Quarto 2	25,28	1,00	25,28
Escritório	24,65	1,00	24,65

Comp. De Serviço	aparelhos a gas (S/N) c/ caldeira (S*)	Potência	Volume	Caudal	
Wc	N		17,20	68,78	ok
Is	N		5,70	22,80	45,00
Cozinha	S*	24,00	15,63	120,00	ok

	comp.	largura	pé direito	volume
sala	8,06	4,13	2,50	83,16
quarto 1	3,62	3,18	2,50	28,78
quarto 2	3,18	3,18	2,50	25,28
escritório	3,18	3,10	2,50	24,65
Wc	3,62	1,90	2,50	17,20
Is	2,40	0,95	2,50	5,70
Cozinha	2,50	2,50	2,50	15,63

II.11 – Inércia térmica solução A, B e B2

No presente anexo é possível ver os valores da inércia térmica para as soluções A, B e B2.

Quadro II.30 – Cálculo da inércia térmica das soluções A, B e B2

	Elemento	Massa volúmica (kg/m ³)	Espessura (m)	M _{si} (kg/m ²)	Msi (kg/m ²) total
Paredes exteriores zona corrente	Gesso cartonado	750	0,013	9,75	9,75
				0	
				0	
				0	
				0	
				0	
Paredes exteriores zona ponte térmica plana	Painél OSB	650	0,012	7,8	108,55
	Frame vertical	650	0,14	91	
	Gesso cartonado	750	0,013	9,75	
				0	
				0	
				0	
Pavimento tipo 1 e 3	Painél OSB	650	0,012	7,8	17,55
	Pav. Flutuante	750	0,013	9,75	
				0	
				0	
				0	
				0	
Pavimento zona PTP	Painél OSB	650	0,012	7,8	78,00
	Viga	650	0,08	52	
	Painél OSB	650	0,013	8,45	
	Pav. Flutuante	750	0,013	9,75	
				0	
				0	
Tecto	Gesso cartonado	750	0,013	9,75	9,75

II.12 – Cálculo térmico

O anexo II.12 é relativo ao cálculo térmico das várias soluções.

Solução A

Folha de cálculo FC IV.1a

Perdas associadas à envolvente exterior

Paredes exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Solução A - N	17,62	0,51	8,99
Solução A - E	16,52	0,51	8,43
Solução A - S	24,31	0,51	12,40
Solução A - W	17,95	0,51	9,15
Porta 1	2,22	1,99	4,42
Porta 2	1,6	1,99	3,18
Pontes térmica plana - framework - N1	1,69	0,92	1,55
Pontes térmica plana - framework - N2	1,04	0,82	0,85
Pontes térmica plana - framework - S1	1,36	0,92	1,25
Pontes térmica plana - framework - S2	0,69	0,82	0,57
Pontes térmica plana - framework - E1	1,83	0,92	1,68
Pontes térmica plana - framework - E2	0,26	0,92	0,24
Pontes térmica plana - framework - O1	2,09	0,92	1,92
	89,18	TOTAL	54,64

Pavimentos exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Pavimento exterior	7,06	0,56	3,95
	7,06	TOTAL	3,95

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
	0,00	0,00	0,00
	0,00	TOTAL	0,00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m °C)	ψ.B (W/°C)
	0,00	0,00	0,00
	0,00	TOTAL	0,00

Pontes Térmicas lineares. Ligações entre:	Comprimento (m)	ψ (W/m °C)	ψ.B (W/°C)
Fachadas com os pavimentos térreos			
Fachadas com pavimentos sobre locais não aquecidos/exteriores	40,16	0,70	28,11
Fachadas com pavimentos intermédios			
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			
Outras	27,45	0,50	13,73
Duas paredes verticais	14,82	0,20	2,96
Fachada com caixa de estore	7,78	0,20	1,56
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	23,93	0,20	4,79
Outras - Fachada com soleira	5,42	0,20	1,08
		TOTAL	52,23

Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma

(W/°C)

TOTAL	110,81
--------------	---------------

Folha de cálculo FC IV.1b

Perdas associadas à envolvente interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
	0,00	0,00	0,00	0,00
		0	TOTAL	0,00

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Pavimento sobre espaço não aquecido	82,70	0,57	0,60	28,28
		49,617	TOTAL	28,28

Coberturas interiores (tectos sobre espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Cobertura	89,80	0,66	0,70	41,49
		62,86	TOTAL	41,49

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
	0,00	0,00	0,00	0,00
		0	TOTAL	

Pontes Térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não - úteis com τ > 0,7)	Comprimento (B) (m)	ψ (W/m °C)	τ (-)	ψ.B.τ (W/°C)
	0,00	0,00	0,00	0,00
			TOTAL	

Perdas pela Envolvente Interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL 69,77

Folha de cálculo FC IV.1c

Perdas associadas à envolvente exterior

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A
Verticais:	(m ²)	(W/m ² °C)	(W/°C)
Env 1-N	5,32	2,91	15,48
Env 2-N	1,70	2,91	4,95
Env 3-N	2,00	2,91	5,82
Env 4-W	2,60	2,91	7,57
Env 5-W	1,00	2,91	2,91
Env 6-S	2,60	2,91	7,57
Env 7-S	0,32	2,91	0,93
Env 8-S	0,74	2,91	2,15
Env 9-E	1,92	2,91	5,59
	18,20	TOTAL	52,96

Folha de cálculo FC IV.1d

Perdas associadas à renovação de ar

Área útil de pavimento (Ap)		89,75	(m ²)
		x	
Pé direito médio		2,47	(m)
		=	
Volume interior (V)		221,68	(m ³)

Ventilação Natural

Cumprir NP 1037-1 ?	(S ou N)	N	se SIM:	RPH = 0.6
Se NÃO:				
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	1		
Caixas de estore	(S ou N)	S e N		
Classe de exposição	(1, 2, 3 ou 4)	1		
Aberturas auto-reguladas?	(S ou N)	N		
Área de envidraçados > 15% x Ap ?	(S ou N)	N		
Portas exteriores bem vedadas?	(S ou N)	S		

Taxa de renovação nominal
RPH = 0,99

Ver quadro IV.1

Ventilação mecânica (excluir exaustor da cozinha)

Caudal de insuflação	V _{ins} - (m ³ /h)	0		
Caudal extraído	V _{ev} - (m ³ /h)	0		
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	0		
Infiltrações	(V _x)	0		
Recuperador de calor	(S ou N)	N		
Taxa de renovação nominal	(mínimo: 0,6)	0		
Consumo de electricidade para os ventiladores		0		

V_f = 0

V = 221,68
(volume interior) (RPH)

se SIM: η =
se NÃO: η = 0

(V_f / V + V_x) (1 - η)

(E_v = P_v . 24 . 0,03 M Kwh)

Volume	221,68	
	x	
Taxa de renovação nominal	0,99	
	x	
	0,34	
	=	
TOTAL	74,62	(W/°C)

Folha de cálculo FC IV.1e

Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m²)	Factor de Orientação X (-)	Factor solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-)=Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m²)
N	Vidro Duplo	5,32	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,57
N	Vidro Duplo	1,70	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,18
N	Vidro Duplo	2,00	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,21
W	Vidro Duplo	2,60	0,56	0,63	0,90	0,70	0,90	0,52
W	Vidro Duplo	1,00	0,56	0,63	0,90	0,70	0,90	0,20
S	Vidro Duplo	2,60	1,00	0,63	0,90	0,70	0,90	0,93
S	Vidro Duplo	0,32	1,00	0,63	0,88	0,70	0,90	0,11
S	Vidro Duplo	0,74	1,00	0,63	0,83	0,70	0,90	0,24
E	Vidro Duplo	1,92	0,56	0,63	0,900	0,70	0,90	0,38

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)

3,36

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (G_{sul})

na zona II (KWh/m².mês) - do Quadro 8 (Anexo III)

108,00

x

Duração da Estação de Aquecimento

(meses)

6,7

=

Ganhos Solares Brutos (KWh/ano)

2427,76

Ganhos Internos:

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	4,00	(W/m2)
	x	
Duração da Estação de Aquecimento (Q III.1)	6,7	(meses)
	x	
Área útil de pavimento	89,75	(m2)
	x	
	0,72	
	=	
Ganhos Internos Brutos	1731,82	(KWh/ano)

Ganhos Totais Úteis:

$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$		4159,57
		10872,01
Inércia do Edifício:	Fraca	a = 1,8
		$\gamma = 0,383$
Factor de Utilização dos Ganhos Solares	(η)	0,883
		x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos		4159,57
		=
Ganhos Totais Úteis (KWh/ano)		3670,84

Folha de cálculo FC IV.1f

Valor máximo das necessidades de Aquecimento (Ni)

FACTOR DE FORMA

Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)

(m²)

Paredes Exteriores	89,18
Coberturas Exteriores	0,00
Pavimentos Exteriores	7,06
Envidraçados Exteriores	18,20

Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A.□)

Paredes Interiores	0,00
Coberturas Interiores	62,86
Pavimentos Interiores	49,62
Envidraçados Interiores	0,00

Área Total:	226,91
-------------	--------

Volume (da FC IV.1d):	221,68
-----------------------	--------

FF	1,024
----	-------

Graus-Dia no Local (°C.dia)

1470,0

Ni = 4,5 + 0,0395 GD

para FF ≤ 0,5

Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD

para 0,5 < FF ≤ 1

Ni = (4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD) (1,2 - 0,2 FF)

para 1 < FF ≤ 1,5

Ni = 4,05 + 0,06885 GD

para FF > 1,5

Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni (KWh/m².ano)

90,61

Folha de cálculo FC V.1a

Perdas

Perdas Associadas às Paredes Exteriores (U.A)	(FC IV1.a)	<input type="text" value="54,64"/>	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas aos Pavimentos Exteriores (U.A)	(FC IV1.a)	<input type="text" value="3,95"/>	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas às Coberturas Exteriores (U.A)	(FC V1.b)	<input type="text" value="0,00"/>	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas aos Envidraçados Exteriores (U.A)	(FC V1.b)	<input type="text" value="52,96"/>	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas à Renovação de Ar	(FC IV1.d)	<input type="text" value="74,62"/>	(W/°C)
		=	
Perdas Específicas Totais	(Q1a)	<input type="text" value="186,17"/>	(W/°C)

Temperatura Interior de Referência		<input type="text" value="25"/>	(°C)
		-	
Temperatura média do Ar Exterior na Estação de Arrefecimento (Quadro III 9)		<input type="text" value="19"/>	(°C)
		=	
Diferença de Temperatura Exterior e Interior		<input type="text" value="6"/>	(°C)
		x	
Perdas Específicas Totais	(Q1a)	<input type="text" value="186,17"/>	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas Térmicas Totais	(Q1b)	<input type="text" value="3270,58"/>	(KWh)

Folha de cálculo FC IV.2

Cálculo do indicador (Nic)

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior da (FC IV.1a)	110,81
Envolvente Interior da (FC IV.1b)	69,77
Vãos Envidraçados da (FC IV.1c)	52,96
Renovação de Ar da (FC IV.1d)	74,62
	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	308,16
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1470
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (KWh/ano)	10872,01
	-
Ganhos Totais Úteis (KWh/ano) (da FC IV.1e)	3670,84
	=
Necessidades de Aquecimento (KWh/ano)	7201,17
	/
Área Útil de pavimento (m ²)	89,75
	=
Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic (KWh/m².ano)	80,24
	≤
Necessidades Nominais Máximas de Aquecimento - Ni (KWh/m².ano)	90,61

Folha de cálculo FC V.1b

Perdas Associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores

Perdas Associadas às Coberturas Exteriores:

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
	0,00	0,00	0,00
TOTAL			0,00

Perdas Associadas aos Envidraçados Exteriores:

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U	U.A
Verticais:	(m ²)	(W/m ² °C)	(W/°C)
Env 1-N	5,32	2,91	15,48
Env 2-N	1,70	2,91	4,95
Env 3-N	2,00	2,91	5,82
Env 4-W	2,60	2,91	7,57
Env 5-W	1,00	2,91	2,91
Env 6-S	2,60	2,91	7,57
Env 7-S	0,32	2,91	0,93
Env 8-S	0,74	2,91	2,15
Env 9-E	1,92	2,91	5,59
Horizontais:			
	0,00	0,00	0,00
TOTAL			52,96

Folha de cálculo FC V.1c

Ganhos Solares Pela Envoltente Opaca Exterior	
---	--

	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL								
	N	S	E	W					
Área - A (m²)	17,62	24,31	16,52	17,95					
	X	x	x	x	x	x	x	x	x
U (W/m² °C)	0,51	0,51	0,51	0,51					
	X	x	x	x	x	x	x	x	x
Coefficiente de absorção - α	0,40	0,40	0,40	0,40					
	=	=	=	=	=	=	=	=	=
α.U.A (W/°C)	3,59	4,96	3,37	3,66					
	X	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. rad. solar estação. arref. (kWh/m²)	200,00	380,00	420,00	420,00					
(Quadro III-9)	X	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,04	0,04	0,04	0,04					
	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares pela (kWh)	28,76	75,38	56,62	61,52					
	TOTAL								
	222,27								

Folha de cálculo FC V.1d

Ganhos Solares Pelos Envidraçados Exteriores

	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL								
	Env1-N	Env2-N	Env3-N	Env6-S	Env7-S	Env8-S	Env9-E	Env4-W	Env5-W
Área - A (m²)	5,32	1,70	2,00	2,60	0,32	0,7	1,9	2,6	1,0
	X	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor solar do vão envid. (1)	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,22	0,22
	X	x	x	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada - Fg (Quadro IV.5)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	X	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor de obstrução - Fs (2)	0,97	0,97	1,00	0,90	0,87	0,84	0,64	1,00	1,00
	X	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor selectividade vidro - Fw	0,80	0,80	0,80	0,75	0,75	0,75	0,85	0,85	0,85
(Quadro V-3)	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Área efectiva - Ae (m²)	0,63	0,20	0,24	0,27	0,03	0,07	0,15	0,34	0,13
	X	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. rad. solar estação. arref. (kWh/m²)	200	200	200	380	380	380	420	420	420
(Quadro III-9)	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares (kWh)	125,42	40,08	48,61	101,30	12,05	26,91	64,49	140,99	54,23

Folha de cálculo FC V.1e

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	(Quadro IV.3)	4,00	(W/m ²)
		x	
Área útil de pavimento		89,75	(m ²)
		x	
		2,928	
		=	
Ganhos Internos Totais		1051,15	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1f

Ganhos Totais na Estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	(FC V.1d)	614,08	(kWh)
		+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	(FC V.1e)	222,27	(kWh)
		+	
Ganhos Internos	(FC V.1e)	1051,15	(kWh)
		=	
Ganhos Térmicos Totais		1887,50	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais	(FC V.1f)	1887,50	(kWh)
		<i>I</i>	
Perdas Térmicas Totais	(FC V.1a)	3270,58	(kWh)
		=	
□		0,5771	
Inércia do edifício		Fraca	a = 1,8

		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η		0,800	
		=	
		0,200159773	
		x	
Ganhos Térmicos Totais (kWh)	(FC V.1f)	1887,50	
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento (kWh/ano)		377,80	
		+	
Consumo dos ventiladores (kWh) (Ev=Pv.24.0,03.4)		0,0	
(se houver, exaustor da cozinha excluído)		=	
	TOTAL	377,80	(KWh/ano)
		<i>I</i>	
Área útil de pavimento (m ²)		89,75	
		=	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc (kWh/m ² .ano)		4,21	
		≤	
Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv (kWh/m ² .ano)		16	

Cálculo das Necessidades de Águas Quentes Sanitárias (Nac, Na)

Limitação das necessidades nominais de energia útil para produção de ASQ (anexo VI) (artº7 do RCCTE):

$$Nac = (Q_a / (\eta_a - E_{solar} - E_{ren})) / A_p$$

$$Na = ((0,081 \cdot M_{AQS} \cdot n_d) / A_p)$$

$$Q_a = (M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d) / (3600000)$$

Caldeira de 50 mm de isolamento térmico

Ap =	89,75	(m²)
Tipologia da Fracção:	T2	
nº de ocup. (Quadro VI.1):	3	
MAQS (ANEXOVI) =	120	(l)
ΔT (ANEXOVI) =	45	(°C)
nd (ANEXOVI) =	365	(dias)
Qa =	2292,38	(kWh/ano)
ηa =	0,87	
Esolar =	942,0	(kWh/ano)
Eren =	0,0	(kWh/ano)

Necessidades de energia para preparação das AQS

$$Nac = 18,86 \text{ (KWh/m}^2\text{.ano)}$$

≤

Necessidade máxima de energia para a preparação de AQS

$$Na = 39,53 \text{ (KWh/m}^2\text{.ano)}$$

Cálculo das Necessidades de Energia Primária (Ntc, Nt)

Limitação das necessidades nominais globais de energia primária de um edifício (artº 8 do RCCTE):

$$N_{tc} = (0,1 \cdot (N_{ic}/\eta_i) \cdot F_{pui} + 0,1 \cdot (N_{vc}/\eta_v) \cdot F_{puv} + N_{ac} \cdot F_{pua})$$

$$N_t = (0,9 \cdot (0,01 \cdot N_i + 0,01 \cdot N_v + 0,15 \cdot N_a))$$

Nic =	80,24	(kWh/m ² .ano)	
ηi =	0,83		(artº 18)
Fpui =	0,086	(kgep/kWh)	(artº 18)
Nvc =	4,21	(kWh/m ² .ano)	
ηv =	3		(artº 18)
Fpuv =	0,086		(artº 18)
Nac =	18,86	(kWh/m ² .ano)	
Fpua =	0,086		(artº 18)

Ni =	90,61	(kWh/m ² .ano)
Nv =	16,00	(kWh/m ² .ano)
Na =	39,53	(kWh/m ² .ano)

Nec. globais anuais nominais específicas de energia primária

$$N_{tc} = 2,47 \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)}$$

≤

Limite máximo admissível de energia primária

$$N_t = 6,30 \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)}$$

Quantificação da inércia térmica interior, I_t

M_{si} - massa superficial útil de cada elemento i (kg/m²)
 S_i - área da superfície interior do elemento i (m²)
 A_p - área útil de pavimento (m²)

Cálculo da inércia térmica interior

elementos de construção	M_{si} (kg/m ²)	S_i (m ²)	Factor de Correcção (r)	$M_{si} \cdot r \cdot S_i$ (kg)
Laje de tecto	9,8	97,4	0,5	474,8
Laje de pavimento 1	17,6	63,8	0,5	559,8
Laje de pavimento 2	78,0	27,0	0,5	1051,1
Laje de pavimento 3	17,6	9,6	0,5	84,5
Paredes exteriores 1	9,8	80,2	1,0	782,1
Paredes exteriores 2	108,6	9,9	0,5	537,9
Paredes interiores	40,9	104,7	1,0	4279,1
TOTAL				7769,3

Área útil de pavimento, A_p (m²) 89,75

Massa superficial útil por m² de área de pavimento, I_t (kg/m²) 86,6

Classe de inércia térmica

Classe de inércia	Massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento (Kg/m ²)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

1,8

Classe de inércia térmica: Fraca

Solução B

Folha de cálculo FC IV.1a

Perdas associadas à envolvente exterior

Paredes exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Solução B - N	17,62	0,41	7,22
Solução B - W	16,52	0,41	6,77
Solução B - S	24,31	0,41	9,97
Solução B - E	17,96	0,41	7,36
Porta1	2,22	1,99	4,42
Porta 2	1,6	1,99	3,18
Pontes térmica plana - framework - N1	1,69	0,55	0,93
Pontes térmica plana - framework - N2	1,04	0,72	0,75
Pontes térmica plana - framework - S1	1,36	0,55	0,75
Pontes térmica plana - framework - S2	0,69	0,72	0,50
Pontes térmica plana - framework - E1	1,83	0,55	1,01
Pontes térmica plana - framework - E2	0,26	0,72	0,19
Pontes térmica plana - framework - O	2,09	0,55	1,15
	89,19	TOTAL	44,20

Pavimentos exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Pavimento exterior	7,06	0,56	3,95
	7,06	TOTAL	3,95

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
	0,00	0,00	0,00
		TOTAL	0,00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m °C)	ψ.B (W/°C)
	0,00	0,00	0,00
		TOTAL	

Pontes Térmicas lineares. Ligações entre:	Comprimento (m)	ψ (W/m °C)	ψ.B (W/°C)
Fachadas com os pavimentos térreos			
Fachadas com pavimentos sobre locais não aquecidos/exteriores	40,16	0,70	28,11
Fachadas com pavimentos intermédios			
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			
Outras	27,45	0,50	13,73
Duas paredes verticais	14,82	0,20	2,96
Fachada com caixa de estore	7,78	0,20	1,56
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril			
Outras - Fachada com soleira	5,42	0,20	1,08
		TOTAL	47,44

Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma

(W/°C)

TOTAL	95,59
--------------	--------------

Folha de cálculo FC IV.1b

Perdas associadas à envolvente interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL				0,00

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Pavimento	82,70	0,57	0,60	28,28
49,617				TOTAL
				28,28

Coberturas interiores (tectos sobre espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Cobertura	89,80	0,66	0,70	41,49
62,86				TOTAL
				41,49

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL				0,00

Pontes Térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não - úteis com τ > 0,7)	Comprimento (B) (m)	ψ (W/m°C)	τ (-)	ψ.Bτ (W/°C)
	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL				

Perdas pela Envolvente Interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL **69,77**

Folha de cálculo FC IV.1c

Perdas associadas à envolvente exterior

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U	U.A
Verticais:	(m ²)	(W/m ² °C)	(W/°C)
Env 1-N	5,32	2,50	13,30
Env 2-N	1,70	2,50	4,25
Env 3-N	2,00	2,50	5,00
Env 4-W	2,60	2,50	6,50
Env 5-W	1,00	2,50	2,50
Env 6-S	2,60	2,50	6,50
Env 7-S	0,32	2,50	0,80
Env 8-S	0,74	2,50	1,85
Env 9-E	1,92	2,50	4,80
18,20		TOTAL	45,50

Folha de cálculo FC IV.1d

Perdas associadas à renovação de ar

Área útil de pavimento (Ap)		89,75	(m ²)
		x	
Pé direito médio		2,47	(m)
		=	
Volume interior (V)		221,68	(m ³)

Ventilação Natural

Cumprir NP 1037-1 ?	(S ou N)	S	se SIM:	RPH = 0.6
Se NÃO:				
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	3		
Caixas de estore	(S ou N)	S e N		
Classe de exposição	(1, 2, 3 ou 4)	1		
Aberturas auto-reguladas?	(S ou N)	S		
Área de envidraçados > 15% x Ap ?	(S ou N)	N		
Portas exteriores bem vedadas ?	(S ou N)	S		
				Taxa de renovação nominal
				RPH =
				Ver quadro IV.1

Ventilação mecânica (excluir exaustor da cozinha)

Caudal de insuflação	V _{ins} - (m ³ /h)	0		
Caudal extraído	V _{ev} - (m ³ /h)	0		
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	0	I	
Infiltrações	(V _x)	0		
Recuperador de calor	(S ou N)	N		
			se SIM:	η =
			se NÃO:	η = 0
Taxa de renovação nominal	(mínimo: 0,6)	0		
Consumo de electricidade para os ventiladores		0		
				(Vf I V + Vx) (1 - η)
				(Ev = Pv . 24 . 0,03 M Kwh)
				V = 221,68
				(volume interior) (RPH)

Volume	221,68	
	x	
Taxa de renovação nominal	0,6	
	x	
	0,34	
	=	
TOTAL	45,22	(W/°C)

Folha de cálculo FC IV.1e

Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m ²)	Factor de Orientação X (-)	Factor solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-)=Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m ²)
N	Vidro Duplo	5,32	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,57
N	Vidro Duplo	1,70	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,18
N	Vidro Duplo	2,00	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,21
W	Vidro Duplo	2,60	0,56	0,63	0,90	0,70	0,90	0,52
W	Vidro Duplo	1,00	0,56	0,63	0,90	0,70	0,90	0,20
S	Vidro Duplo	2,60	1,00	0,63	0,92	0,70	0,90	0,95
S	Vidro Duplo	0,32	1,00	0,63	0,88	0,70	0,90	0,11
S	Vidro Duplo	0,74	1,00	0,63	0,83	0,70	0,90	0,24
E	Vidro Duplo	1,92	0,56	0,63	0,900	0,70	0,90	0,38

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)

3,38

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (G_{sul})

na zona

II

(KWh/m².mês) - do Quadro 8 (Anexo III)

108,00

x

Duração da Estação de Aquecimento

(meses)

6,7

=

Ganhos Solares Brutos (KWh/ano)

2442,69

Ganhos Internos:

Ganhos internos médios

(Quadro IV.3)

4,00

(W/m²)

x

Duração da Estação de Aquecimento (Q III.1)

6,7

(meses)

x

Área útil de pavimento

89,75

(m²)

x

0,72

=

Ganhos Internos Brutos

1731,82

(KWh/ano)

Ganhos Totais Úteis:

$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$

4174,51

9034,52

Inércia do Edifício:

Fraca

a = 1,8

$\gamma = 0,462$

Factor de Utilização dos Ganhos Solares

(η)

0,849

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos

4174,51

=

Ganhos Totais Úteis (KWh/ano)

3542,22

Folha de cálculo FC IV.1f

Valor máximo das necessidades de Aquecimento (Ni)

FACTOR DE FORMA

Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)

(m²)

Paredes Exteriores	89,19
Coberturas Exteriores	0,00
Pavimentos Exteriores	7,06
Envidraçados Exteriores	18,20

Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A.□)

Paredes Interiores	0,00
Coberturas Interiores	62,86
Pavimentos Interiores	49,62
Envidraçados Interiores	0,00

Área Total:	226,92
-------------	--------

I

Volume (da FC IV.1d):	221,68
-----------------------	--------

=

FF	1,024
----	-------

Graus-Dia no Local (°C.dia)

1470,0

Ni = 4,5 + 0,0395 GD

para FF ≤ 0,5

Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD

para 0,5 < FF ≤ 1

Ni = (4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD) (1,2 - 0,2 FF)

para 1 < FF ≤ 1,5

Ni = 4,05 + 0,06885 GD

para FF > 1,5

Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni (KWh/m².ano)

90,62

Folha de cálculo FC IV.2

Cálculo do indicador (Nic)

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior da (FC IV.1a)	95,59
Envolvente Interior da (FC IV.1b)	69,77
Vãos Envidraçados da (FC IV.1c)	45,50
Renovação de Ar da (FC IV.1d)	45,22
	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	256,08
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1470
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (KWh/ano)	9034,52
	-
Ganhos Totais Úteis (KWh/ano) (da FC IV.1e)	3542,22
	=
Necessidades de Aquecimento (KWh/ano)	5492,30
	/
Área Útil de pavimento (m ²)	89,75
	=
Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic (KWh/m².ano)	61,20
	≤
Necessidades Nominais Máximas de Aquecimento - Ni (KWh/m².ano)	90,62

Folha de cálculo FC V.1b

Perdas Associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores

Perdas Associadas às Coberturas Exteriores:

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
	0,00	0,00	0,00
TOTAL			0,00

Perdas Associadas aos Envidraçados Exteriores:

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U	U.A
Verticais:	(m ²)	(W/m ² °C)	(W/°C)
Env 1-N	5,32	2,50	13,30
Env 2-N	1,70	2,50	4,25
Env 3-N	2,00	2,50	5,00
Env 4-W	2,60	2,50	6,50
Env 5-W	1,00	2,50	2,50
Env 6-S	2,60	2,50	6,50
Env 7-S	0,32	2,50	0,80
Env 8-S	0,74	2,50	1,85
Env 9-E	1,92	2,50	4,80
TOTAL			45,50

Folha de cálculo FC V.1a

Perdas

Perdas Associadas às Paredes Exteriores (U.A)	(FC IV1.a)	<input type="text" value="44,20"/>	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas aos Pavimentos Exteriores (U.A)	(FC IV1.a)	<input type="text" value="3,95"/>	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas às Coberturas Exteriores (U.A)	(FC V1.b)	<input type="text" value="0,00"/>	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas aos Envidraçados Exteriores (U.A)	(FC V1.b)	<input type="text" value="45,50"/>	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas à Renovação de Ar	(FC IV1.d)	<input type="text" value="45,22"/>	(W/°C)
		=	
Perdas Específicas Totais	(Q1a)	<input type="text" value="138,87"/>	(W/°C)

Temperatura Interior de Referência		<input type="text" value="25"/>	(°C)
		-	
Temperatura média do Ar Exterior na Estação de Arrefecimento (Quadro III 9)		<input type="text" value="19"/>	(°C)
		=	
Diferença de Temperatura Exterior e Interior		<input type="text" value="6"/>	(°C)
		x	
Perdas Específicas Totais	(Q1a)	<input type="text" value="138,87"/>	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas Térmicas Totais	(Q1b)	<input type="text" value="2439,67"/>	(KWh)

Folha de cálculo FC V.1c

Ganhos Solares Pela Envoltente Opaca Exterior

	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL											
	N	S	W	E								
Área - A (m²)	17,62	24,31	16,52	17,96								
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
U (W/m² °C)	0,41	0,41	0,41	0,41								
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Coefficiente de absorção - α	0,40	0,40	0,40	0,40								
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
α.U.A (W/°C)	2,89	3,99	2,71	2,95								
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. rad. solar estação. arref. (kWh/m²)	200,00	380,00	420,00	420,00								
(Quadro III-9)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,04	0,04	0,04	0,04								
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares pela (kWh)	23,12	60,60	45,52	49,48								
	TOTAL											
	178,72											

Folha de cálculo FC V.1d

Ganhos Solares Pelos Envidraçados Exteriores

	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL								
	Env1- N	Env2- N	Env3- N	Env6- S	Env7- S	Env8- S	Env9- E	Env4- W	Env5- W
Área - A (m ²)	5,32	1,70	2,00	2,60	0,32	0,7	1,9	2,6	1,0
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor solar do vão envid. (1)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,21	0,25	0,25
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada - Fg (Quadro IV.5)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor de obstrução - Fs (2)	0,95	0,95	0,95	0,48	0,48	0,53	0,64	0,59	0,57
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor selectividade vidro - Fw	0,80	0,80	0,80	0,75	0,75	0,75	0,85	0,85	0,85
(Quadro V-3)	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Área efectiva - Ae (m ²)	0,69	0,22	0,26	0,16	0,02	0,05	0,15	0,22	0,08
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. rad. solar estação. arref. (kWh/m ²)	200	200	200	380	380	380	420	420	420
(Quadro III-9)	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares (kWh)	138,68	44,32	52,14	61,00	7,51	19,17	64,49	93,92	34,90

TOTAL

516,1

Folha de cálculo FC V.1e

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	(Quadro IV.3)	4,00	(W/m ²)
		x	
Área útil de pavimento		89,75	(m ²)
		x	
		2,928	
		=	
Ganhos Internos Totais		1051,15	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1f

Ganhos Totais na Estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	(FC V.1d)	516,11	(kWh)
		+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	(FC V.1e)	178,72	(kWh)
		+	
Ganhos Internos	(FC V.1e)	1051,15	(kWh)
		=	
Ganhos Térmicos Totais		1745,98	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais	(FC V.1f)	1745,98	(kWh)
		I	
Perdas Térmicas Totais	(FC V.1a)	2439,67	(kWh)
		=	
□		0,7157	
Inércia do edifício		Fraca	a = 1,8

		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η		0,744	
		=	
		0,256058632	
		x	
Ganhos Térmicos Totais (kWh)	(FC V.1f)	1745,98	
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento (kWh/ano)		447,07	
		+	
Consumo dos ventiladores (kWh)	(Ev=Pv.24.0,03.4)	0,0	
(se houver, exaustor da cozinha excluído)		=	
	TOTAL	447,07	(KWh/ano)
		I	
Área útil de pavimento (m ²)		89,75	
		=	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc (kWh/m ² .ano)		4,98	
		≤	
Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv (kWh/m ² .ano)		16	

Cálculo das Necessidades de Águas Quentes Sanitárias (Nac, Na)

Limitação das necessidades nominais de energia útil para produção de ASQ (anexo VI) (artº7 do RCCTE):

$$Nac = (Q_a / (\eta_a - E_{solar} - E_{ren})) / A_p$$

$$Na = ((0,081 \cdot M_{AQS} \cdot n_d) / A_p)$$

$$Q_a = (M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d) / (3600000)$$

Caldeira de 50 mm de isolamento térmico

$A_p =$	89,75	(m ²)
Tipologia da Fracção:	T2	
nº de ocup. (Quadro VI.1):	3	
M_{AQS} (ANEXOVI) =	120	(l)
ΔT (ANEXOVI) =	45	(°C)
n_d (ANEXOVI) =	365	(dias)
$Q_a =$	2292,38	(kWh/ano)
$\eta_a =$	1,08	
$E_{solar} =$	1780,0	(kWh/ano)
$E_{ren} =$	0,0	(kWh/ano)

Necessidades de energia para preparação das AQS

$$Nac = 3,82 \text{ (KWh/m}^2\text{.ano)}$$

≤

Necessidade máxima de energia para a preparação de AQS

$$Na = 39,53 \text{ (KWh/m}^2\text{.ano)}$$

Cálculo das Necessidades de Energia Primária (Ntc, Nt)

Limitação das necessidades nominais globais de energia primária de um edifício (artº 8 do RCCTE):

$$N_{tc} = (0,1 \cdot (N_{ic}/\eta_i) \cdot F_{pui} + 0,1 \cdot (N_{vc}/\eta_v) \cdot F_{puv} + N_{ac} \cdot F_{pua})$$

$$N_t = (0,9 \cdot (0,01 \cdot N_i + 0,01 \cdot N_v + 0,15 \cdot N_a))$$

Nic =	61,20	(kWh/m².ano)	
ηi =	1,08		(artº 18)
Fpui =	0,086	(kgep/kWh)	(artº 18)
Nvc =	4,98	(kWh/m².ano)	
ηv =	3		(artº 18)
Fpuv =	0,086		(artº 18)
Nac =	3,82	(kWh/m².ano)	
Fpua =	0,086		(artº 18)

Ni =	90,62	(kWh/m².ano)
Nv =	16,00	(kWh/m².ano)
Na =	39,53	(kWh/m².ano)

Nec. globais anuais nominais específicas de energia primária

$$N_{tc} = 0,83 \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)}$$

≤

Limite máximo admissível de energia primária

$$N_t = 6,30 \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)}$$

Quantificação da inércia térmica interior, It

M_{si} - massa superficial útil de cada elemento i
(kg/m²)

S_i - área da superfície interior do elemento i (m²)

A_p - área útil de pavimento (m²)

Cálculo da inércia térmica interior

elementos de construção	M_{si} (kg/m ²)	S_i (m ²)	Factor de Correcção (r)	$M_{si} \cdot r \cdot S_i$ (kg)
Laje de tecto	9,8	97,4	0,5	474,8
Laje de pavimento 1	17,6	63,8	1,0	1119,7
Laje de pavimento 2	39,0	27,0	1,0	1051,1
Laje de pavimento 3	17,6	9,6	1,0	169,0
Paredes exteriores 1	9,8	80,2	1,0	782,1
Paredes exteriores 2	108,6	9,9	1,0	1075,8
Paredes interiores	40,9	104,7	1,0	4279,1
TOTAL				8951,6

Área útil de pavimento, A_p (m²) 89,75

Massa superficial útil por m² de área de pavimento,
 It (kg/m²) 99,7

Classe de inércia térmica

Classe de inércia	Massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento (Kg/m ²)
Fraca	$It < 150$
Média	$150 \leq It \leq 400$
Forte	$It > 400$

1,8

Classe de inércia térmica: Fraca

Solução B2

Folha de cálculo FC IV.1a

Perdas associadas à envolvente exterior

Paredes exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Solução B	17,62	0,41	7,22
Solução B	16,52	0,41	6,77
Solução B	24,31	0,41	9,97
Solução B	17,96	0,41	7,36
Porta1	2,22	1,99	4,42
Porta 2	1,6	1,99	3,18
Pontes térmica plana - framework - N1	1,69	0,55	0,93
Pontes térmica plana - framework - N2	1,04	0,72	0,75
Pontes térmica plana - framework - S1	1,36	0,55	0,75
Pontes térmica plana - framework - S2	0,69	0,72	0,50
Pontes térmica plana - framework - E1	1,83	0,55	1,01
Pontes térmica plana - framework - E2	0,26	0,72	0,19
Pontes térmica plana - framework - O	2,09	0,55	1,15
	89,19	TOTAL	44,20

Pavimentos exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Pavimento exterior	7,06	0,56	3,95
	7,06	TOTAL	3,95

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
	0,00	0,00	0,00
		TOTAL	0,00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m °C)	ψ.B (W/°C)
	0,00	0,00	0,00
		TOTAL	0,00

Pontes Térmicas lineares. Ligações entre:	Comprimento (m)	ψ (W/m °C)	ψ.B (W/°C)
Fachadas com os pavimentos térreos			
Fachadas com pavimentos sobre locais não aquecidos/exteriores	40,16	0,70	28,11
Fachadas com pavimentos intermédios			
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			
Outras	27,45	0,50	13,73
Duas paredes verticais	14,82	0,20	2,96
Fachada com caixa de estore	7,78	0,20	1,56
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	0,00	0,00	0,00
Outras - Fachada com soleira	5,42	0,20	1,08
		TOTAL	47,44

Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma

(W/°C)

TOTAL 95,59

Folha de cálculo FC IV.1b

Perdas associadas à envolvente interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
	0,00	0,00	0,00	0,00
			TOTAL	0,00

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
Pavimento	82,70	0,57	0,60	28,28
			49,617	TOTAL
				28,28

Coberturas interiores (tectos sobre espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
Cobertura	89,80	0,66	0,70	41,49
			62,86	TOTAL
				41,49

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
	0,00	0,00	0,00	0,00
			TOTAL	0,00

Pontes Térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não - úteis com τ > 0,7)	Comprimento (B) (m)	ψ (W/m°C)	τ (-)	ψ.B. τ (W/°C)
	0,00	0,00	0,00	0,00
			TOTAL	0,00

Perdas pela Envolvente Interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL 69,77

Folha de cálculo FC IV.1c

Perdas associadas à envolvente exterior

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U	U.A
Verticais:	(m ²)	(W/m ² °C)	(W/°C)
Env 1-N	5,32	2,50	13,30
Env 2-N	1,70	2,50	4,25
Env 3-N	2,00	2,50	5,00
Env 4-W	2,60	2,50	6,50
Env 5-W	1,00	2,50	2,50
Env 6-S	2,60	2,50	6,50
Env 7-S	0,32	2,50	0,80
Env 8-S	0,74	2,50	1,85
Env 9-E	1,92	2,50	4,80
		18,20	TOTAL
			45,50

Folha de cálculo FC IV.1d

Perdas associadas à renovação de ar

Área útil de pavimento (Ap)	<input type="text" value="89,75"/>	(m ²)
	x	
Pé direito médio	<input type="text" value="2,47"/>	(m)
	=	
Volume interior (V)	<input type="text" value="221,68"/>	(m ³)

Ventilação Natural

Cumprir NP 1037-1 ?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	se SIM:	<input type="text" value="RPH = 0.6"/>
Se NÃO:				
Classe da Caixilharia	(s/c,1,2 ou 3)	<input type="text" value="3"/>		
Caixas de estore	(S ou N)	<input type="text" value="S e N"/>		
Classe de exposição	(1,2,3 ou 4)	<input type="text" value="1"/>		
Aberturas auto-reguladas?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>		
Área de envidraçados > 15% x Ap ?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>		
Portas exteriores bem vedadas ?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>		

Taxa de renovação nominal

RPH =

Ver quadro IV.1

Ventilação mecânica (excluir exaustor da cozinha)

Caudal de insuflação	V _{ins} - (m ³ /h)	<input type="text" value="0"/>		
Caudal extraído	V _{ev} - (m ³ /h)	<input type="text" value="0"/>		
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	<input type="text" value="0"/>	I	
Infiltrações	(V _s)	<input type="text" value="0"/>		
Recuperador de calor	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>		
			se SIM:	<input type="text" value="η ="/>
			se NÃO:	<input type="text" value="η = 0"/>
Taxa de renovação nominal	(mínimo: 0,6)	<input type="text" value="0"/>		(Vf I V + Vx) (1 - η)
Consumo de electricidade para os ventiladores		<input type="text" value="0"/>		(Ev = Pv . 24 . 0,03 M Kwh))

V_f =

V = (volume interior) (RPH)

Volume	<input type="text" value="221,68"/>	
	x	
Taxa de renovação nominal	<input type="text" value="0,6"/>	
	x	
	<input type="text" value="0,34"/>	
	=	
TOTAL	<input type="text" value="45,22"/>	(W/°C)

Folha de cálculo FC IV.1e

Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m²)	Factor de Orientação X (-)	Factor solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-) = Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m²)
N	Vidro Duplo	5,32	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,57
N	Vidro Duplo	1,70	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,18
N	Vidro Duplo	2,00	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,21
E	Vidro Duplo	2,60	0,33	0,63	0,90	0,70	0,90	0,31
E	Vidro Duplo	1,00	0,56	0,63	0,90	0,70	0,90	0,20
S	Vidro Duplo	2,60	0,56	0,63	0,92	0,70	0,90	0,53
S	Vidro Duplo	0,32	0,84	0,63	0,88	0,70	0,90	0,09
S	Vidro Duplo	0,74	0,84	0,63	0,83	0,70	0,90	0,20
W	Vidro Duplo	1,92	1,00	0,63	0,900	0,70	0,90	0,69

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)

2,99

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul)

na zona I3 (KWh/m².mês) - do Quadro 8 (Anexo III)

90,00

x

Duração da Estação de Aquecimento

(meses)

7,3

=

Ganhos Solares Brutos (KWh/ano)

1963,96

Ganhos Internos:

Ganhos internos médios	(Quadro IV.3)	4,00	(W/m2)
		x	
Duração da Estação de Aquecimento (Q III.1)		7,3	(meses)
		x	
Área útil de pavimento		89,75	(m2)
		x	
		0,72	
		=	
Ganhos Internos Brutos		1886,90	(KWh/ano)

Ganhos Totais Úteis:

$\gamma =$	Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos	3850,87
	Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)	15795,05
Inércia do Edifício:	Fraca	a = 1,8
		$\gamma =$ 0,244
Factor de Utilização dos Ganhos Solares	(η)	0,939
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos		3850,87
		=
Ganhos Totais Úteis (KWh/ano)		3616,83

Folha de cálculo FC IV.1f

Valor máximo das necessidades de Aquecimento (Ni)

FACTOR DE FORMA

Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)

(m²)

Paredes Exteriores	89,19
Coberturas Exteriores	0,00
Pavimentos Exteriores	7,06
Envidraçados Exteriores	18,20

Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A.□)

Paredes Interiores	0,00
Coberturas Interiores	62,86
Pavimentos Interiores	49,62
Envidraçados Interiores	0,00

Área Total: 226,92

Volume (da FC IV.1d): 221,68

FF 1,024

Graus-Dia no Local (°C.dia)

2570,0

$N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$ para $FF \leq 0,5$
 $N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}$ para $0,5 < FF \leq 1$
 $N_i = (4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}) (1,2 - 0,2 \text{ FF})$ para $1 < FF \leq 1,5$
 $N_i = 4,05 + 0,06885 \text{ GD}$ para $FF > 1,5$

Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni (KWh/m².ano)

155,07

Folha de cálculo FC IV.2

Cálculo do indicador (Nic)

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior da (FC IV.1a)	95,59
Envolvente Interior da (FC IV.1b)	69,77
Vãos Envidraçados da (FC IV.1c)	45,50
Renovação de Ar da (FC IV.1d)	45,22
	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	256,08
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	2570
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (KWh/ano)	15795,05
	-
Ganhos Totais Úteis (KWh/ano) (da FC IV.1e)	3616,83
	=
Necessidades de Aquecimento (KWh/ano)	12178,22
	/
Área Útil de pavimento (m ²)	89,75
	=
Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic (KWh/m².ano)	135,69
	≤
Necessidades Nominais Máximas de Aquecimento - Ni (KWh/m².ano)	155,07

Folha de cálculo FC V.1a

Perdas

Perdas Associadas às Paredes Exteriores (U.A)	(FC IV1.a)	44,20	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas aos Pavimentos Exteriores (U.A)	(FC IV1.a)	3,95	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas às Coberturas Exteriores (U.A)	(FC V1.b)	0,00	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas aos Envidraçados Exteriores (U.A)	(FC V1.b)	45,50	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas à Renovação de Ar	(FC IV1.d)	45,22	(W/°C)
		=	
Perdas Específicas Totais	(Q1a)	138,87	(W/°C)

Temperatura Interior de Referência		25	(°C)
		-	
Temperatura média do Ar Exterior na Estação de Arrefecimento (Quadro III 9)		22	(°C)
		=	
Diferença de Temperatura Exterior e Interior		3	(°C)
		x	
Perdas Específicas Totais	(Q1a)	138,87	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas Térmicas Totais	(Q1b)	1219,84	(KWh)

Folha de cálculo FC V.1b

Perdas Associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores

Perdas Associadas às Coberturas Exteriores:

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
	0,00	0,00	0,00
TOTAL			0,00

Perdas Associadas aos Envidraçados Exteriores:

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U	U.A
Verticais:	(m ²)	(W/m ² °C)	(W/°C)
Env 1-N	5,32	2,50	13,30
Env 2-N	1,70	2,50	4,25
Env 3-N	2,00	2,50	5,00
Env 4-W	2,60	2,50	6,50
Env 5-W	1,00	2,50	2,50
Env 6-S	2,60	2,50	6,50
Env 7-S	0,32	2,50	0,80
Env 8-S	0,74	2,50	1,85
Env 9-E	1,92	2,50	4,80
TOTAL			45,50

Folha de cálculo FC V.1e

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	(Quadro IV.3)	4,00	(W/m ²)
		x	
Área útil de pavimento		89,75	(m ²)
		x	
		2,928	
		=	
Ganhos Internos Totais		1051,15	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1f

Ganhos Totais na Estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	(FC V.1d)	534,54	(kWh)
		+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	(FC V.1c)	188,69	(kWh)
		+	
Ganhos Internos	(FC V.1e)	1051,15	(kWh)
		=	
Ganhos Térmicos Totais		1774,38	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais	(FC V.1f)	1774,38	(kWh)
Perdas Térmicas Totais	(FC V.1a)	1219,84	(kWh)
		=	
		1,4546	
Inércia do edifício		Fraca	a = 1,8

		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η		0,519	
		=	
		0,480959231	
		x	
Ganhos Térmicos Totais (kWh)	(FC V.1f)	1774,38	
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento (kWh/ano)		853,40	
		+	
Consumo dos ventiladores (kWh) (Ev=Pv.24.0,03.4)		0,0	
(se houver, exaustor da cozinha excluído)		=	
	TOTAL	853,40	(KWh/ano)
		/	
Área útil de pavimento (m ²)		89,75	
		=	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc (kWh/m ² .ano)		9,51	
		≤	
Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv (kWh/m ² .ano)		26	

Cálculo das Necessidades de Águas Quentes Sanitárias (Nac, Na)

Limitação das necessidades nominais de energia útil para produção de ASQ (anexo VI) (artº7 do RCCTE):

$$Nac = (Q_a / (\eta_a - E_{solar} - E_{ren})) / A_p$$

$$Na = ((0,081 \cdot M_{AQS} \cdot n_d) / A_p)$$

$$Q_a = (M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d) / (3600000)$$

Caldeira de 50 mm de isolamento térmico

Ap =	89,75	(m²)
Tipologia da Fracção:	T2	
nº de ocup. (Quadro VI.1):	3	
M _{AQS} (ANEXOVI) =	120	(l)
ΔT (ANEXOVI) =	45	(°C)
n _d (ANEXOVI) =	365	(dias)
Q _a =	2292,38	(kWh/ano)
η _a =	1,08	
E _{solar} =	1752,0	(kWh/ano)
E _{ren} =	0,0	(kWh/ano)

Necessidades de energia para preparação das AQS

$$Nac = 4,13 \text{ (KWh/m}^2 \cdot \text{ano)}$$

≤

Necessidade máxima de energia para a preparação de AQS

$$Na = 39,53 \text{ (KWh/m}^2 \cdot \text{ano)}$$

Quantificação da inércia térmica interior, It

M_{si} - massa superficial útil de cada elemento i
(kg/m²)

S_i - área da superfície interior do elemento i (m²)

A_p - área útil de pavimento (m²)

Cálculo da inércia térmica interior

elementos de construção	M_{si} (kg/m ²)	S_i (m ²)	Factor de Correcção (r)	$M_{si} \cdot r \cdot S_i$ (kg)
Laje de tecto	9,8	97,4	0,5	474,8
Laje de pavimento 1	17,6	63,8	1,0	1119,7
Laje de pavimento 2	39,0	27,0	1,0	1051,1
Laje de pavimento 3	17,6	9,6	1,0	169,0
Paredes exteriores 1	9,8	80,2	1,0	782,1
Paredes exteriores 2	108,6	9,9	1,0	1075,8
Paredes interiores	40,9	104,7	1,0	4279,1
TOTAL				8951,6

Área útil de pavimento, A_p (m²)

89,75

Massa superficial útil por m² de área de pavimento, I_t (kg/m²)

=
99,7

Classe de inércia térmica

Classe de inércia	Massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento (Kg/m ²)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

1,8

Classe de inércia térmica:

Fraca

Solução C

Folha de cálculo FC IV.1a

Perdas associadas à envolvente exterior

Paredes exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Paredes exteriores - N	17,62	0,47	8,28
Paredes exteriores - W	16,52	0,47	7,76
Paredes exteriores - S	24,31	0,47	11,43
Paredes exteriores - E	17,96	0,47	8,44
Porta1	2,22	1,99	4,42
Porta 2	1,6	1,99	3,18
Pontes térmica plana - pilares - N	0,74	0,74	0,55
Pontes térmica plana - pilares - S	1,48	0,74	1,10
Pontes térmica plana - pilares - w	0,74	0,74	0,55
Pontes térmica plana - frames - E	0,74	0,74	0,55
Ponte térmica plana - viga - N	3,62	0,74	2,68
Ponte térmica plana - viga - S	3,62	0,74	2,68
Ponte térmica plana - viga - W	0,74	0,74	0,55
Ponte térmica plana - viga - E	0,74	0,74	0,55
	92,65	TOTAL	52,71

Pavimentos exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Pavimento exterior	7,10	0,56	3,98
	7,10	TOTAL	3,98

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Cobertura	89,80	0,56	50,29
	89,80	TOTAL	50,29

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m °C)	ψ.B (W/°C)
	0,00	0,00	0,00
		TOTAL	0,00

Pontes Térmicas lineares. Ligações entre:	Comprimento (m)	ψ (W/m °C)	ψ.B (W/°C)
Fachadas com os pavimentos térreos	0,00	0,00	0,00
Fachadas com pavimentos sobre locais não aquecidos/exteriores	40,16	0,70	28,11
Fachadas com pavimentos intermédios	0,00	0,00	0,00
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	41,82	0,75	31,37
Outras	27,45	0,35	9,61
Duas paredes verticais	5,64	0,20	1,13
Fachada com caixa de estore	7,78	0,20	1,56
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	23,93	0,20	4,79
Outras - Fachada com soleira	5,42	0,20	1,08
		TOTAL	77,64

Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma

(W/°C)

TOTAL	184,61
--------------	---------------

Folha de cálculo FC IV.1b

Perdas associadas à envolvente interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL				0,00

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
Pavimento	82,70	0,52	0,60	25,90
49,62 TOTAL				25,90

Coberturas interiores (tectos sobre espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL				0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
	0,00		0,00	0,00
TOTAL				0,00

Pontes Térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não - úteis com τ > 0,7)	Comprimento (B) (m)	ψ (W/m °C)	τ (-)	ψ.B. τ (W/°C)
	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL				0,00

Perdas pela Envolvente Interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	25,90
--------------	--------------

Perdas associadas à envolvente exterior

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U	U.A
Verticais:	(m ²)	(W/m ² °C)	(W/°C)
Envidraçados 1	5,32	2,91	15,48
Envidraçados 2	1,70	2,91	4,95
Envidraçados 3	2,00	2,91	5,82
Envidraçados 4	2,60	2,91	7,57
Envidraçados 5	1,00	2,91	2,91
Envidraçados 6	2,60	2,91	7,57
Envidraçados 7	0,32	2,91	0,93
Envidraçados 8	0,74	2,91	2,15
Envidraçados 9	1,92	2,91	5,59
18,20 TOTAL			52,96

Folha de cálculo FC IV.1e

Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m²)	Factor de Orientação X (-)	Factor solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-)=Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m²)
N	Vidro Duplo	5,32	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,57
N	Vidro Duplo	1,70	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,18
N	Vidro Duplo	2,00	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,21
E	Vidro Duplo	2,60	0,33	0,63	0,90	0,70	0,90	0,31
E	Vidro Duplo	1,00	0,56	0,63	0,90	0,70	0,90	0,20
S	Vidro Duplo	2,60	0,56	0,63	0,92	0,70	0,90	0,53
S	Vidro Duplo	0,32	0,84	0,63	0,88	0,70	0,90	0,09
S	Vidro Duplo	0,74	0,84	0,63	0,83	0,70	0,90	0,20
W	Vidro Duplo	1,92	1,00	0,63	0,900	0,70	0,90	0,69

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)	2,99
	x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsol) na zona I1 (KWh/m².mês) - do Quadro 8 (Anexo III)	108,00
	x
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	6,7
	=
Ganhos Solares Brutos (KWh/ano)	2163,05

Ganhos Internos:

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	4,00	(W/m²)
	x	
Duração da Estação de Aquecimento (Q III.1)	6,7	(meses)
	x	
Área útil de pavimento	89,75	(m²)
	x	
	0,72	
	=	
Ganhos Internos Brutos	1731,82	(KWh/ano)

Ganhos Totais Úteis:

$\gamma =$	Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos	3894,87
	Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)	11927,81
Inércia do Edifício: Forte	a = 4,2	$\gamma =$ 0,327
Factor de Utilização dos Ganhos Solares	(η)	0,994
		x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos		3894,87
		=
Ganhos Totais Úteis (KWh/ano)		3870,95

Folha de cálculo FC IV.1d

Perdas associadas à renovação de ar

Área útil de pavimento (Ap)	89,75	(m ²)
	x	
Pé direito médio	2,47	(m)
	=	
Volume interior (V)	221,68	(m ³)

Ventilação Natural

Cumprir NP 1037-1 ?	(S ou N)	N	se SIM:	RPH = 0.6
Se NÃO:				
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	3		
Caixas de estore	(S ou N)	S e N		
Classe de exposição	(1, 2, 3 ou 4)	1		
Aberturas auto-reguladas?	(S ou N)	N		
Área de envidraçados > 15% x Ap ?	(S ou N)	N		
Portas exteriores bem vedadas ?	(S ou N)	S		
			Ver quadro IV.1	

Ventilação mecânica (excluir exaustor da cozinha)

Caudal de insuflação	V _{ins} - (m ³ /h)	0		
Caudal extraído	V _{ev} - (m ³ /h)	0		
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	0		
Infiltrações	(V _x)	0		
Recuperador de calor	(S ou N)	N		
Taxa de renovação nominal	(mínimo: 0,6)	0		
Consumo de electricidade para os ventiladores		0		

V_f = 0

V = 221,68

(volume interior) (RPH)

se SIM: η =
se NÃO: η = 0(V_f / V + V_x) (1 - η)(E_v = P_v . 24 . 0,03 M Kwh))

Volume	221,68	
	x	
Taxa de renovação nominal	0,99	
	x	
	0,34	
	=	
TOTAL	74,62	(W/°C)

Folha de cálculo FC IV.1f

Valor máximo das necessidades de Aquecimento (Ni)

FACTOR DE FORMA

Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)

(m²)

Paredes Exteriores

92,65

Coberturas Exteriores

89,80

Pavimentos Exteriores

7,10

Envidraçados Exteriores

18,20

Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A.□)

Paredes Interiores

0,00

Coberturas Interiores

0,00

Pavimentos Interiores

49,62

Envidraçados Interiores

0,00

Área Total:

257,37

I

Volume (da FC IV.1d):

221,68

=

FF

1,161

Graus-Dia no Local (°C.dia)

1470,0

Ni = 4,5 + 0,0395 GD

para FF ≤ 0,5

Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD

para 0,5 < FF ≤ 1

Ni = (4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD) (1,2 - 0,2 FF)

para 1 < FF ≤ 1,5

Ni = 4,05 + 0,06885 GD

para FF > 1,5

Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni (KWh/m².ano)

95,34

Folha de cálculo FC IV.2

Cálculo do indicador (Nic)

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior da (FC IV.1a)	184,61
Envolvente Interior da (FC IV.1b)	25,90
Vãos Envidraçados da (FC IV.1c)	52,96
Renovação de Ar da (FC IV.1d)	74,62

	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	338,09
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1470
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (KWh/ano)	11927,81
	-
Ganhos Totais Úteis (KWh/ano) (da FC IV.1e)	3870,95
	=
Necessidades de Aquecimento (KWh/ano)	8056,85
	<i>I</i>
Área Útil de pavimento (m²)	89,75
	=
Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic (KWh/m².ano)	89,77
	≤
Necessidades Nominais Máximas de Aquecimento - Ni (KWh/m².ano)	95,34

Folha de cálculo FC V.1a

Perdas

Perdas Associadas às Paredes Exteriores (U.A)	(FC IV1.a)	<input type="text" value="52,71"/>	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas aos Pavimentos Exteriores (U.A)	(FC IV1.a)	<input type="text" value="3,98"/>	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas às Coberturas Exteriores (U.A)	(FC V1.b)	<input type="text" value="50,29"/>	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas aos Envidraçados Exteriores (U.A)	(FC V1.b)	<input type="text" value="52,96"/>	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas à Renovação de Ar	(FC IV1.d)	<input type="text" value="74,62"/>	(W/°C)
		=	
Perdas Específicas Totais	(Q1a)	<input type="text" value="234,55"/>	(W/°C)

Temperatura Interior de Referência		<input type="text" value="25"/>	(°C)
		-	
Temperatura média do Ar Exterior na Estação de Arrefecimento (Quadro III 9)		<input type="text" value="19"/>	(°C)
		=	
Diferença de Temperatura Exterior e Interior		<input type="text" value="6"/>	(°C)
		x	
Perdas Específicas Totais	(Q1a)	<input type="text" value="234,55"/>	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas Térmicas Totais	(Q1b)	<input type="text" value="4120,57"/>	(KWh)

Folha de cálculo FC V.1b

Perdas Associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores

Perdas Associadas às Coberturas Exteriores:

Coberturas Exteriores	Área (m²)	U (W/m² °C)	U.A (W/°C)
Cobertura	89,80	0,56	50,29
TOTAL			50,29

Perdas Associadas aos Envidraçados Exteriores:

Vãos envidraçados exteriores	Área (m²)	U	U.A
Verticais:	(m²)	(W/m² °C)	(W/°C)
Envidraçados 1	5,32	2,91	15,48
Envidraçados 2	1,70	2,91	4,95
Envidraçados 3	2,00	2,91	5,82
Envidraçados 4	2,60	2,91	7,57
Envidraçados 5	1,00	2,91	2,91
Envidraçados 6	2,60	2,91	7,57
Envidraçados 7	0,32	2,91	0,93
Envidraçados 8	0,74	2,91	2,15
Envidraçados 9	1,92	2,91	5,59
TOTAL			52,96

Folha de cálculo FC V.1c

Ganhos Solares Pela Envolvente Opaca Exterior

	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL								
	N	S	W	E					
Área - A (m²)	17,62	24,31	16,52	17,96					
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
U (W/m² °C)	0,47	0,47	0,47	0,47					
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Coefficiente de absorção - α	0,40	0,40	0,40	0,40					
	=	=	=	=	=	=	=	=	=
α.U.A (W/°C)	3,31	4,57	3,11	3,38					
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. rad. solar estação. arref. (kWh/m²)	200,00	380,00	420,00	420,00					
(Quadro III-9)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,04	0,04	0,04	0,04					
	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares pela (kWh)	26,50	69,47	52,18	56,72					
	TOTAL								
	204,87								

Folha de cálculo FC V.1d

Ganhos Solares Pelos Envidraçados Exteriores

	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL								
	N	N	N	S	S	S	E	W	W
Área - A (m ²)	5,32	1,70	2,00	2,60	0,32	0,7	1,9	2,6	1,0
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor solar do vão envid. (1)	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada - Fg (Quadro IV.5)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor de obstrução - Fs (2)	0,97	0,97	1,00	0,90	0,87	0,84	0,64	1,00	1,00
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor selectividade vidro - Fw (Quadro V-3)	0,80	0,80	0,80	0,75	0,75	0,75	0,85	0,85	0,85
	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Área efectiva - Ae (m ²)	0,63	0,20	0,24	0,27	0,03	0,07	0,16	0,34	0,13
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. rad. solar estação. arref. (kWh/m ²) (Quadro III-9)	200	200	200	380	0	380	420	420	420
	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares (kWh)	125,42	40,08	48,61	101,30	0,00	26,91	66,64	140,99	54,23

Folha de cálculo FC V.1e

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	(Quadro IV.3)	4,00	(W/m ²)
		x	
Área útil de pavimento		89,75	(m ²)
		x	
		2,928	
		=	
Ganhos Internos Totais		1051,15	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1f

Ganhos Totais na Estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos envidraçados exteriores	(FC V.1d)	604,17	(kWh)
		+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	(FC V.1c)	204,87	(kWh)
		+	
Ganhos Internos	(FC V.1e)	1051,15	(kWh)
		=	
Ganhos Térmicos Totais		1860,20	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais	(FC V.1f)	1860,20	(kWh)
		<i>I</i>	
Perdas Térmicas Totais	(FC V.1a)	4120,57	(kWh)
		=	
□		0,4514	
Inércia do edifício		Forte	a = 4,2

		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η		0,980	
		=	
		0,01974928	
		x	
Ganhos Térmicos Totais (kWh)	(FC V.1f)	1860,20	
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento (kWh/ano)		36,74	
		+	
Consumo dos ventiladores (kWh) (Ev=Pv.24.0,03.4)		0,0	
(se houver, exaustor da cozinha excluído)		=	
	TOTAL	36,74	(KWh/ano)
		<i>I</i>	
Área útil de pavimento (m ²)		89,75	
		=	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc (kWh/m ² .ano)		0,41	
		≤	
Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv (kWh/m ² .ano)		16	

Cálculo das Necessidades de Águas Quentes Sanitárias (Nac, Na)

Limitação das necessidades nominais de energia útil para produção de ASQ (anexo VI) (artº7 do RCCTE):

$$Nac = (Q_a / (\eta_a - E_{solar} - E_{ren})) / A_p$$

$$Na = ((0,081 \cdot M_{AQS} \cdot n_d) / A_p)$$

$$Q_a = (M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d) / (3600000)$$

Caldeira de 50 mm de isolamento térmico

$A_p =$	89,75	(m ²)
Tipologia da Fracção:	T2	
nº de ocup. (Quadro VI.1):	3	
$M_{AQS} \text{ (ANEXOVI)} =$	120	(l)
$\Delta T \text{ (ANEXOVI)} =$	45	(°C)
$n_d \text{ (ANEXOVI)} =$	365	(dias)
$Q_a =$	2292,38	(kWh/ano)
$\eta_a =$	0,87	
$E_{solar} =$	1542,0	(kWh/ano)
$E_{ren} =$	0,0	(kWh/ano)

Necessidades de energia para preparação das AQS

$$Nac = 12,18 \text{ (KWh/m}^2\text{.ano)}$$

≤

Necessidade máxima de energia para a preparação de AQS

$$Na = 39,53 \text{ (KWh/m}^2\text{.ano)}$$

Cálculo das Necessidades de Energia Primária (Ntc, Nt)

Limitação das necessidades nominais globais de energia primária de um edifício (artº 8 do RCCTE):

$$N_{tc} = (0,1 \cdot (N_{ic}/\eta_i) \cdot F_{pui} + 0,1 \cdot (N_{vc}/\eta_v) \cdot F_{puv} + N_{ac} \cdot F_{pua})$$

$$N_t = (0,9 \cdot (0,01 \cdot N_i + 0,01 \cdot N_v + 0,15 \cdot N_a))$$

Nic =	89,77	(kWh/m².ano)	
ηi =	0,83		(artº 18)
Fpui =	0,086	(kgep/kWh)	(artº 18)
Nvc =	0,41	(kWh/m².ano)	
ηv =	0,83		(artº 18)
Fpuv =	0,086		(artº 18)
Nac =	12,18	(kWh/m².ano)	
Fpua =	0,086		(artº 18)

Ni =	95,34	(kWh/m².ano)
Nv =	16,00	(kWh/m².ano)
Na =	39,53	(kWh/m².ano)

Nec. globais anuais nominais específicas de energia primária

$$N_{tc} = 1,98 \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)}$$

≤

Limite máximo admissível de energia primária

$$N_t = 6,34 \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)}$$

Cálculo das Necessidades de Águas Quentes Sanitárias (Nac, Na)

Limitação das necessidades nominais de energia útil para produção de ASQ (anexo VI) (artº7 do RCCTE):

$$Nac = (Q_a / (\eta_a - E_{solar} - E_{ren})) / A_p$$

$$Na = ((0,081 \cdot M_{AQS} \cdot n_d) / A_p)$$

$$Q_a = (M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d) / (3600000)$$

Caldeira de 50 mm de isolamento térmico

$A_p =$	89,75	(m ²)
Tipologia da Fracção:	T2	
nº de ocup. (Quadro VI.1):	3	
M_{AQS} (ANEXOVI) =	120	(l)
ΔT (ANEXOVI) =	45	(°C)
n_d (ANEXOVI) =	365	(dias)
$Q_a =$	2292,38	(kWh/ano)
$\eta_a =$	0,87	
$E_{solar} =$	1542,0	(kWh/ano)
$E_{ren} =$	0,0	(kWh/ano)

Necessidades de energia para preparação das AQS

$$Nac = 12,18 \text{ (KWh/m}^2\text{.ano)}$$

≤

Necessidade máxima de energia para a preparação de AQS

$$Na = 39,53 \text{ (KWh/m}^2\text{.ano)}$$

Quantificação da inércia térmica interior, It

M_{si} - massa superficial útil de cada elemento i (kg/m^2)

S_i - área da superfície interior do elemento i (m^2)

A_p - área útil de pavimento (m^2)

Cálculo da inércia térmica interior

elementos de construção	M_{si} (kg/m^2)	S_i (m^2)	Factor de Correção (r)	$M_{si} \cdot r \cdot S_i$ (kg)
Laje de tecto	70,0	97,4	1,0	6818,0
Laje de pavimento	135,0	89,8	1,0	12123,0
Paredes da envolvente da fracção autónoma em estudo	140,0	123,1	1,0	17234,0
Paredes enterradas	0,0	0,0	0,0	0,0
Pavimento enterrados	0,0	0,0	0,0	0,0
Paredes entre edifícios	0,0	0,0	1,0	0,0
Paredes interiores	300,0	104,7	1,0	31410,0
TOTAL				67585,0

Área útil de pavimento, A_p (m^2) 89,75

Massa superficial útil por m^2 de área de pavimento, I_t (kg/m^2) 753,0

Classe de inércia térmica

Classe de inércia	Massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento (Kg/m^2)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

4,2

Classe de inércia térmica: Forte

II.13 Relatórios energéticos

No presente anexo encontram-se os relatórios energéticos provenientes do programa Solterm, o qual serviu para encontrar o valor do E_{solar} .

relatório energético solução A e C

- SolTerm 5.0

Licenciado a Romeu da Silva Vicente
()

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

- Campo de colectores

- Modelo de colector: COLECTOR PADRÃO

Tipo: Plano

3 módulos (3,0 m²)

Inclinação 7° - Azimute -90°

Coefficientes de perdas térmicas: a₁= 7,500 w/m²/K a₂= 0,014 w/m²/K²

Rendimento óptico: 69,0%

Modificador de ângulo: a

0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°		
1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93		
a	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
	0,90	0,87	0,83	0,77	0,68	0,55	0,33	0,00	0,00	0,00

- Permutador

- Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 80%

Caudal no grupo painel/permutador: 79,2 l/m² por hora (=0,07 l/s)

- Depósito

- Modelo: 100 litros

Volume: 100 l

Área externa: 2,70 m²

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coefficiente de perdas térmicas: 2,70 w/K

Um conjunto depósito/permutador

- Tubagens

- Comprimento total: 10,0 m

Percurso no exterior: 1,2 m com protecção mecânica

Diâmetro interno: 37,0 mm

Espessura do tubo metálico: 3,0 mm

Espessura do isolamento: 36,0 mm

Condutividade térmica do metal: 380 w/m/K

Condutividade térmica do isolamento: 0,030 w/m/K

relatório energético solução A e C

- Carga térmica: segunda a sexta

Consumo 120 litros

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez	12	13	14	16	17	18	17	16	14	14	13

Perfis de consumo (l) hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez 01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 09	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 11											
12											
13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 14	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 16											
17											
18											
19	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 20	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 21	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 23											
24											
diário	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120

120

relatório energético solução A e C

Carga térmica: fim-de-semana

Consumo 120 litros

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez	12	13	14	16	17	18	17	16	14	14	13

Perfis de consumo (l) hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez 01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
09	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
11											
12											
13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
14	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
16											
17											
18											
19	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
20	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
21	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
23											
24											

relatório energético solução A e C

diário	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

120

Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Vagos

Coordenadas nominais: 40,5°N, 8,7°W

TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (fonte: INETI - versão 2004)

Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)

Orientação do painel: inclinação 7° - azimuth -90°

Balanco energético mensal e anual

	Rad.Horiz. kwh/m ²	Rad.Inclin. kwh/m ²	Desperdiçado kwh	Fornecido kwh	Carga kwh	Apoio kwh
Janeiro	54	53	,	37	208	171
Fevereiro	71	70	,	44	184	140
Março	107	107	,	67	199	132
Abril	147	146	,	88	184	96
Maio	178	177	,	103	186	83
Junho	183	183	,	108	176	68
Julho	202	201	,	127	186	59
Agosto	186	184	,	123	190	67
Setembro	131	131	,	97	193	96
Outubro	98	97	,	71	199	128
Novembro	64	64	,	44	197	153
Dezembro	52	50	,	34	208	174
Anual	1471	1464	,	942	2308	1366

Fracção solar: 40,8%

Rendimento global anual do sistema: 21%
colector]

Produtividade: 314 kwh/[m²

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

d | 17-08-2009 23:40:27 |

relatório_energético solução B

- SolTerm 5.0

Licenciado a Romeu da Silva Vicente

()

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

- Campo de colectores

- Modelo de colector: Baxi Roca PS 2.0

Tipo: Plano

3 módulos (5,8 m²)

Inclinação 7° - Azimute -90°

Coefficientes de perdas térmicas: a₁= 3,191 w/m²/K a₂= 0,025 w/m²/K²

Rendimento óptico: 76,0%

Modificador de ângulo: a

0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°		
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
a	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,95	0,91	0,81	0,00

- Permutador

- Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 80%

Caudal no grupo painel/permutador: 42,9 l/m² por hora (=0,07 l/s)

- Depósito

- Modelo: 100 litros

Volume: 100 l

Área externa: 2,70 m²

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coefficiente de perdas térmicas: 2,70 w/K

Um conjunto depósito/permutador

- Tubagens

- Comprimento total: 10,0 m

Percurso no exterior: 1,5 m com protecção mecânica

Diâmetro interno: 37,0 mm

Espessura do tubo metálico: 1,5 mm

Espessura do isolamento: 30,0 mm

Condutividade térmica do metal: 380 w/m/K

Condutividade térmica do isolamento: 0,030 w/m/K

relatório_energético solução B

- Carga térmica: segunda a sexta

Consumo 120 litros

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez	12	13	14	16	17	18	17	16	14	14	13

Perfis de consumo (l) hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez 01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 09	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 11											
12											
13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 14	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 16											
17											
18											
19	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 20	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 21	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 23											
24											
diário	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120

120

relatório_energético solução B

Carga térmica: fim-de-semana

Consumo 120 litros

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez	12	13	14	16	17	18	17	16	14	14	13

Perfis de consumo (l) hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez 01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 09	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 11											
12											
13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 14	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 16											
17											
18											
19	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 20	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 21	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 23											
24											

relatório_energético solução B
diário 120 120 120 120 120 120 120 120 120 120 120
120

-
Localização, posição e envolvente do sistema

-
Concelho de Vagos
Coordenadas nominais: 40,5°N, 8,7°W
TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (fonte: INETI - versão 2004)

Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)

Orientação do painel: inclinação 7° - azimuth -90°

-
Balanço energético mensal e anual

	Rad.Horiz. kwh/m ²	Rad.Inclin. kwh/m ²	Desperdiçado kwh	Fornecido kwh	Carga kwh	Apoio kwh
Janeiro	54	53	,	100	208	108
Fevereiro	71	70	,	115	184	68
Março	107	107	,	155	199	44
Abril	147	146	28,	165	184	19
Maio	178	177	67,	170	186	16
Junho	183	183	80,	166	176	10
Julho	202	201	90,	179	186	7
Agosto	186	184	55,	186	190	5
Setembro	131	131	13,	173	193	20
Outubro	98	97	,	157	199	42
Novembro	64	64	,	116	197	80
Dezembro	52	50	,	96	208	111

Anual	1471	1464	333,	1780	2308	529

Fracção solar: 77,1%
Rendimento global anual do sistema: 21% Produtividade: 309 kwh/[m²
colector]

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs
78,79,80/06)

e | 15-08-2009 16:56:12 |

relatório_energético Valpaços

- SolTerm 5.0

Licenciado a Romeu da Silva Vicente
()

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

- Campo de colectores

- Modelo de colector: Baxi Roca PS 2.0

Tipo: Plano

3 módulos (5,8 m²)

Inclinação 7° - Azimute -90°

Coefficientes de perdas térmicas: a₁= 3,191 w/m²/K a₂= 0,025 w/m²/K²

Rendimento óptico: 76,0%

Modificador de ângulo: a

0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°		
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
a	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,95	0,91	0,81	0,00

- Permutador

- Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 80%

Caudal no grupo painel/permutador: 42,9 l/m² por hora (=0,07 l/s)

- Depósito

- Modelo: 100 litros

Volume: 100 l

Área externa: 2,70 m²

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coefficiente de perdas térmicas: 2,70 w/K

Um conjunto depósito/permutador

- Tubagens

- Comprimento total: 10,0 m

Percurso no exterior: 1,5 m com protecção mecânica

Diâmetro interno: 37,0 mm

Espessura do tubo metálico: 1,5 mm

Espessura do isolamento: 30,0 mm

Condutividade térmica do metal: 380 w/m/K

Condutividade térmica do isolamento: 0,030 w/m/K

relatório_energético Valpaços

- Carga térmica: segunda a sexta

Consumo 120 litros

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez	12	13	14	16	17	18	17	16	14	14	13

Perfis de consumo (l) hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez 01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 09	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 11											
12											
13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 14	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 16											
17											
18											
19	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 20	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 21	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 23											
24											
diário	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120

120

relatório_energético Valpaços

 - Carga térmica: fim-de-semana

 -

Consumo 120 litros

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez	12	13	14	16	17	18	17	16	14	14	13
12											

Perfis de consumo (l) hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez											
01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 09	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 11											
12											
13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 14	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 16											
17											
18											
19	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 20	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 21	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 22	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12 23											
24											

relatório_energético Valpaços

diário 120 120 120 120 120 120 120 120 120 120 120

Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Valpaços

Coordenadas nominais: 41,6°N, 7,4°W

TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (fonte: INETI - versão 2004)

Obstruções do horizonte: 3°(por defeito)

Orientação do painel: inclinação 7° - azimuth -90°

Balanço energético mensal e anual

	Rad.Horiz. kwh/m ²	Rad.Inclin. kwh/m ²	Desperdiçado kwh	Fornecido kwh	Carga kwh	Apoio kwh
Janeiro	51	50	,	90	208	117
Fevereiro	69	69	,	114	184	70
Março	111	110	1,	155	199	44
Abril	143	141	14,	164	184	20
Maio	177	177	63,	171	186	15
Junho	196	195	90,	174	176	2
Julho	214	213	127,	183	186	3
Agosto	194	193	82,	189	190	1
Setembro	134	133	21,	176	193	17
Outubro	94	93	,	151	199	48
Novembro	60	59	,	107	197	90
Dezembro	45	45	,	80	208	128
Anual	1488	1479	397,	1752	2308	556

Fracção solar: 75,9%

Rendimento global anual do sistema: 21%
colector]

Produtividade: 304 kwh/[m²

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

a | 15-08-2009 17:06:51 |

Anexo III

Análise financeira

Anexo III – Análise financeira

No presente anexo encontram-se os cálculos relativo ao estudo económico. Os quadros

Quadro III.1 – Cálculo do investimento efectuado para as soluções de melhoria

Solução A				I.V.A	20%
Artigo	Designação	UN	Quant.	Preço	Preço total
1	Paredes exteriores				
1.1	Isolante térmico lã de rocha	m ²	66,49	6,55 €	435,51 €
2	Vigas de coroamento	m ³	0,21	420,00 €	88,20 €
3	Envidraçados				2.867,10 €
4	Cobertura				
4.1	Painel Isotérmico	m ²	94,16	18,00 €	1.694,88 €
4.2	Isolante térmico lã de rocha	m ²	89,80	6,55 €	588,19 €
5	Pavimento				
5.1	Isolante térmico lã de rocha	m ²	89,80	6,55 €	588,19 €
6	Sistema de AQS				1.000,00 €
				Total	7.262,07 €

Solução B				I.V.A	20%
Artigo	Designação	UN	Quant.	Preço	Preço total
1	Paredes exteriores				
1.1	Isolante térmico aglomerado de cortiça	m ²	76,40	15,77 €	1.204,77 €
2	Vigas de coroamento	m ³	0,254	420,00 €	106,68 €
3	Envidraçados + protecção				3.000,00 €
4	Cobertura				
4.1	Placas compostas	m ²	94,16	12,00 €	1.129,92 €
4.2	Isolante térmico aglomerado de cortiça	m ²	89,80	7,88 €	708,04 €
5	Pavimento				
5.1	Isolante térmico aglomerado de cortiça	m ²	89,80	7,88 €	707,62 €
6	Ventilação				
6.1	Entradas de ar				
6.1.1	Entrada de ar 28.8*3.5 cm ²		1,00	11,08 €	11,08 €
6.1.2	Entrada de ar 28.8*2.8 cm ²		2,00	10,20 €	20,40 €
6.1.3	Entrada de ar 28.8*2.0 cm ²		1,00	8,24 €	8,24 €
6.2	saidas de ar				
6.2.1	Saída de ar ø105		1,00	3,72 €	3,72 €
6.2.2	Saída de ar ø235		1,00	7,82 €	7,82 €
6.2.3	Saída de ar ø255		1,00	10,92 €	10,92 €
6.3	Conduta em aço galvanizado	m ²	7,00	45,25 €	316,75 €
6.4	Ventilador eólico		3,00	80,00 €	240,00 €
7	Sistema de AQS				3.018,20 €
				Total	10.494,16 €
				Investimento	3.232,09 €

Quadro III.2 – Cálculo do custo dos gastos de energia até ao ano 15

Custo do kWh	0,1221 €	EDP
Custo do kWh	0,0675 €	Lusitaniagas
Aumento da energia	2,50%	
Taxa de actualização euro	5,00%	
	Solução A	Solução B
Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	7190,43	5492,30
custos	877,95 €	670,61 €
Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)	377,80	447,07
custos	46,1296 €	54,5877 €
Necessidades de AQS (kWh/ano)	1692,92	342,58
custos	114,3552 €	23,1407 €
total (ano 0)	1.038,44 €	748,34 €
total (ano 1)	1.090,36 €	785,76 €
total (ano 2)	1.144,88 €	825,04 €
total (ano 3)	1.202,12 €	866,30 €
total (ano 4)	1.262,23 €	909,61 €
total (ano 5)	1.325,34 €	955,09 €
total (ano 6)	1.391,60 €	1.002,85 €
total (ano 7)	1.461,18 €	1.052,99 €
total (ano 8)	1.534,24 €	1.105,64 €
total (ano 9)	1.610,95 €	1.160,92 €
total (ano 10)	1.691,50 €	1.218,96 €
total (ano 11)	1.776,08 €	1.279,91 €
total (ano 12)	1.864,88 €	1.343,91 €
total (ano 13)	1.958,13 €	1.411,10 €
total (ano 14)	2.056,03 €	1.481,66 €
total (ano 15)	2.158,83 €	1.555,74 €

Quadro III.3 – Cálculo do valor actualizado líquido

Receitas	Valor actualizado	Valor acumulado	Investimento	Valor Actualizado líquido
290,10 €	290,10 €	290,10 €	3.232,09 €	-2.941,99 €
296,99 €	269,38 €	559,47 €		-2.672,62 €
311,84 €	269,38 €	828,85 €		-2.403,24 €
327,43 €	269,38 €	1.098,23 €		-2.133,86 €
343,80 €	269,38 €	1.367,60 €		-1.864,49 €
360,99 €	269,38 €	1.636,98 €		-1.595,11 €
379,04 €	269,38 €	1.906,35 €		-1.325,74 €
397,99 €	269,38 €	2.175,73 €		-1.056,36 €
417,89 €	269,38 €	2.445,11 €		-786,98 €
438,79 €	269,38 €	2.714,48 €		-517,61 €
460,72 €	269,38 €	2.983,86 €		-248,23 €
483,76 €	269,38 €	3.253,23 €		21,15 €
507,95 €	269,38 €	3.522,61 €		290,52 €
533,35 €	269,38 €	3.791,99 €		559,90 €

Quadro III.4 - Necessidades energéticas da solução A e B

	Solução A	Solução B
Nic	80,12	61,20
η_i	0,83	1,08
Ap	89,75	89,75
Nvc	4,21	4,98
η_v	3	3
Nac	18,86	3,82

Quadro III.5 – Cálculo do período de retorno através das necessidades energéticas

Custo do kwh	0,1221 €	EDP
Custo do kwh	0,0675 €	Lusitaniagas

Custo de exploração solução A	198,80 €
Custo de exploração solução B	82,43 €

δcusto de investimento	3.232,09 €
δcusto de exploração	116,37 €
Período de retorno (Anos)	27,77

$$\text{Custo de exploração} = (N_{ic}/\eta_i) \cdot A_p \cdot \text{custo} + (N_{vc}/\eta_v) \cdot A_p \cdot \text{custo} + N_{ac} \cdot A_p \cdot \text{custo}$$

$$\text{Período de retorno} = \delta \text{Custo de investimento} / \delta \text{Custo de exploração}$$